

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI

GÉORISQUES CÔTIERS : ADAPTATION ET PERCEPTIONS DES
COMMUNAUTÉS CÔTIÈRES DANS LE GOLFE DU SAINT-LAURENT.

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN GÉOGRAPHIE
EXTENSIONNÉE DE
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

PAR
STÉPHANIE FRIESINGER

1 DÉCEMBRE 2009

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement n°8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

« We occupy the barrier islands like people who have built cities on the back of giant sea turtles. Like all reptiles, turtles must breathe, but we so enjoy our perch we will not tolerate the beast moving even to keep a footing in water shallow enough for it to raise its head » (Kaufman et Pilkey, 1983).

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier mon directeur de maîtrise, Pascal Bernatchez, pour avoir bien voulu me diriger dans le cadre de cette recherche. Je le remercie pour sa grande patience et son encouragement tout au long de cette période. Ses conseils et ses critiques ont fait évoluer, non seulement ma réflexion, mais également ma personne. Je le remercie de m'avoir soutenu dans les moments de découragement. Son enthousiasme m'a énormément aidé à réussir cette étape de ma vie.

Je tiens à remercier La Fondation communautaire Gaspésie-Les Îles, le Fond d'Action pour le Changement Climatique, le consortium Ouranos et le gouvernement du Québec pour leur soutien financier.

J'aimerais remercier les personnes qui m'ont aidé durant l'enquête auprès des résidents, soit Antoine Morissette, Catherine Denis, Isabelle Turbide et Benoît Vigneault. Je remercie Daniel Roberge de m'avoir également aidé pendant l'enquête et pour la saisie des données. Merci aux étudiants des cours de Gestion intégrée des zones côtières et de Gestion intégrée de l'environnement, 2005. Je voudrais souligner l'aide précieuse de Kati Brown, la cartothécaire de l'UQAR, et celle de Pierre Colin, l'archiviste de l'UQAR, pour la recherche dans les différents types d'archives. Je voudrais aussi remercier tous mes collègues de travail et fidèles amiEs, soit Étienne Bachand, Maude Corriveau, Myriam Coutu, Catherine Denis, Susan Drejza, Véronique Fournier, Yvon Jolivet, Marie-Noëlle Juneau, Anne-Marie Leclerc, Chantal Quintin, Stéphanie Van-Wiert, Benoît Vigneault et Ursule Boyer-Villemaire qui ont enduré mes «folleries» tout au long de ma maîtrise. Merci de m'avoir accepté dans tous mes états d'âmes possibles et malgré tout mon bordel. Merci à tous mes amiEs que je n'ai pas mentionnéEs plus haut. Sans vous, je n'aurais pas pu persévérer jusqu'à la fin. Finalement, je tiens à remercier tout spécialement mon père, Fritz, ma mère, Karin, ma sœur, Sabine et mon beau frère, Chadi, pour leur énorme support moral malgré la distance qui nous sépare.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
RÉSUMÉ.....	ix
INTRODUCTION	1
DESCRIPTION DES SITES D'ÉTUDE.....	4
CHAPITRE I	5
LOCALISATION ET DESCRIPTION DES SITES D'ÉTUDE	5
1.1. Région de Percé	6
1.1.1. Géologie et formations meubles	7
1.1.2. Climat.....	9
1.1.3. Océanographie	10
1.1.4. Érosion récente	10
1.2. Région de la baie des Chaleurs	11
1.2.1. Géologie et formations meubles	12
1.2.2. Climat.....	13
1.2.3. Océanographie	13
1.2.4. Érosion récente	14
1.3. Les Îles-de-la-Madeleine	14
1.3.1. Géologie et formations meubles	15
1.3.2. Climat.....	16
1.3.3. Océanographie	17
1.3.4. Érosion récente	18
1.4. Région de Sept-Îles	20
1.4.1. Géologie et formations meubles	20
1.4.2. Climat.....	21
1.4.3. Océanographie	21

1.4.4 Érosion récente	22
1.5. Région de la Minganie	24
1.5.1. Géologie et formations meubles	24
1.5.2. Climat.....	25
1.5.3. Océanographie	25
1.5.4. Érosion récente	26
RÉSULTATS ET ANALYSES.....	27
CHAPITRE II.....	28
L'importance des archives dans l'étude des événements météorologiques extrêmes pour la gestion des géorisques côtiers.....	28
2.1. Introduction.....	29
2.2. Définition des seuils utilisés pour décrire les tempêtes et les pluies diluviennes	31
2.3. Région d'étude.....	34
2.4. Méthodologie.....	36
2.4.1. Données d'archives	36
2.4.2 Données météorologiques	37
a) Données des vents et seuils des tempêtes.....	38
b) Données des pluies	38
2.5. Résultats	39
2.5.1. Analyse des événements tirés des archives	39
2.5.2. Données météorologiques historiques.....	44
a) Données météorologiques des vents	44
b) Données météorologiques des pluies diluviennes	47
2.5.3. Comparaison des résultats des archives avec ceux des stations météorologiques	49
2.6. Discussion.....	55
2.6.1. Événements de tempêtes.....	55
2.6.2. Pluies diluviennes	59
2.7. Conclusion.....	62
2.8. Remerciements.....	63
2.9. Références	64

CHAPITRE III	71
Perceptions des communautés côtières du golfe du Saint-Laurent face aux changements environnementaux : aléas et adaptations, Québec, Canada.....	71
3.1. Introduction.....	72
3.2. Localisation des sites d'étude	74
3.3. Méthodologie	75
3.4. Caractéristiques géomorphologiques du milieu de vie des répondants.....	77
Minganie.....	79
3.5. Analyse de la perception des résidents.....	80
3.5.1. Âge et nombre d'années de résidence	80
3.5.2. Résultats de l'enquête	80
a) Observations générales sur l'érosion côtière.....	80
b) Causes de l'érosion côtière	81
c) Changements environnementaux observés	83
d) Actions pour se protéger ou s'adapter face à l'érosion côtière	84
e) Responsables des coûts pour réaliser les interventions	87
3.6. Relation entre les perceptions et les données géoscientifiques	88
3.7 Conclusion	94
3.8. Références bibliographiques	95
4. CONCLUSION	99
5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	102
APPENDICE A TABLEAUX DES ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES	119
APPENDICE B GÉOLOGIE STRUCTURALE ET FORMATIONS DE SURFACE DES RÉGIONS D'ÉTUDE.....	155
APPENDICE C CLASSIFICATION CLIMATIQUE EN 15 CLASSES.....	166

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Localisation des sites d'étude.....	5
Figure 1.2. Limites de la zone d'étude de la région de Percé	6
Figure 1.3. Barachois de la rivière Malbaie	7
Figure 1.4. Géologie de la région de Percé.....	8
Figure 1.5. Limite de la zone d'étude de la baie des Chaleurs.	11
Figure 1.6. Zone d'étude des Îles-de-la-Madeleine.....	14
Figure 1.7. Enrochements protégeant la route 199.....	19
Figure 1.8. Limites de la zone d'étude de Sept-Îles.	20
Figure 1.9: Évolution de la ville de Sept-Îles de 1931 à 1996 : celle-ci a eu pour impact la disparition totale de la plage.....	23
Figure 1.10. Limites de la zone d'étude de la Minganie.	24
Figure 2.1. Localisation des régions d'étude.	35
Figure 2.2. Nombre d'événements extrêmes, tirés des archives, survenus dans chaque mois dans les régions d'étude.	43
Figure 2.3. Répartition du nombre de tempête selon les mois.....	46
Figure 2.4a. La proportion d'événements extrêmes en fonction des conditions de vents pour les trois régions.	50
Figure 2.4b. La proportion d'événements extrêmes en fonction des conditions de pluies pour les trois régions.	51
Figure 2.5. Données météorologiques des vents (tempêtes) et des pluies diluviennes pour les trois régions et événements extrêmes tirées des archives.....	54
Figure 3.1. Localisation des régions d'étude.	74
Figure 3.2. Observations générales des répondants sur l'érosion côtière.....	81
Figure 3.3. Causes de l'érosion côtière d'après les répondants.	82
Figure 3.4. Zone résidentielle à Maria dans la baie des Chaleurs..	89

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Différents seuils de tempête et de pluie diluvienne trouvés dans la littérature....	32
Tableau 2.2. Journaux et autres documents consultés pour chaque région d'étude.	37
Tableau 2.3. Stations météorologiques de chaque région et années de couverture.	37
Tableau 2.4. Événements naturels extrêmes tirés des archives pour chaque région.	40
Tableau 2.5. Événements naturels extrêmes tirés des archives (1960 à 2007) survenus dans les régions de Sept-Îles et de Percé (phénomène principal et phénomènes secondaires).....	41
Tableau 2.6. Événements naturels extrêmes tirés des archives (1963 à 2007) survenus aux îles de la Madeleine (phénomène principal et phénomènes secondaires).....	42
Tableau 2.7. Nombre de tempêtes selon les données des vents et la période des tempêtes pour les trois régions.....	45
Tableau 2.8. Nombre d'événements de pluie diluvienne selon la saison pour les trois régions d'étude.....	48
Tableau 2.9. Nombre d'événements de vagues de tempête présents ou absents dans les données météorologiques pour les trois régions.....	53
Tableau 2.10. Événements naturels extrêmes survenus au niveau régional.	55
Tableau 3.1. Nombre de questionnaires par région.....	75
Tableau 3.2. Questions posées aux répondants*	76
Tableau 3.3. Caractéristiques géomorphologiques du milieu de vie des répondants.	78
Tableau 3.4. L'âge des répondants et le nombre d'années de résidence.	80
Tableau 3.5. Changements environnementaux observés par les répondants.....	84
Tableau 3.6. Longueur et type d'artificialité sur la côte, actions privilégiées par les répondants pour contrer ou s'adapter à l'érosion côtière, responsables des coûts pour l'action et proportion des répondants qui voudrait un partage des coûts.	86

RÉSUMÉ

Le littoral du golfe du Saint-Laurent subit une érosion de plus en plus généralisée depuis plus d'une décennie. Les modifications des conditions environnementales, en partie liées au réchauffement climatique et aux perturbations anthropiques, seraient en bonne partie responsables de l'accroissement de l'érosion côtière. Certains changements environnementaux, tels le déficit sédimentaire des plages, la diminution de la couverture de glace, la hausse du niveau marin relatif et la subsidence augmentent la sensibilité des littoraux aux aléas côtiers. La forte concentration urbaine le long des littoraux du Québec soulève la question de la vulnérabilité des infrastructures et des communautés côtières. Les enjeux socio-économiques associés aux aléas côtiers concernent principalement la vulnérabilité des infrastructures résidentielles, commerciales, industrielles, de services, patrimoniales, routières, ferroviaires et portuaires. Mentionnons aussi les perturbations de certaines activités économiques et les dommages occasionnés aux défenses côtières sans oublier la hausse de leurs coûts d'entretien. Dans une optique de prévention des risques, la gestion intégrée du littoral semble primordiale. Les différents processus d'érosion doivent être bien compris. De plus, les changements climatiques apportent une inquiétude supplémentaire à cette problématique. Les changements possibles dans le régime des événements naturels extrêmes sont encore mal connus. Pour avoir une meilleure compréhension du régime des événements extrêmes, l'analyse des données d'archives sur les événements extrêmes, soit les tempêtes et les pluies diluviennes, qui sont survenus sur les côtes des régions de Sept-Îles, de Percé et des Îles-de-la-Madeleine a été effectuée. Celle-ci permet d'établir des corrélations entre les événements et les impacts réels. Elle permet ainsi de valider l'utilisation des données des stations météorologiques et d'apporter des précisions sur les seuils qui caractérisent les événements extrêmes. Les résultats montrent qu'une analyse faite seulement à partir des stations météorologiques surestime le nombre d'événements extrêmes pouvant affecter la côte. Les récurrences des événements extrêmes calculées à partir des archives de journaux et de documents gouvernementaux varient entre 1 et 4 ans selon la région. L'analyse des données météorologiques donnent une récurrence de moins de 1 an. La plupart des événements de tempête tirés des archives avaient des vents de 40 km/h et plus. Quelques événements avaient même des vents de moins de 40 km/h. Depuis la fin des années 1960, sept événements sont survenus à l'échelle régionale du golfe du Saint-Laurent. Les événements de tempête sont plus nombreux en hiver et en automne, alors que les événements de pluie diluvienne se produisent plutôt au printemps et à l'automne selon la région. La saisonnalité est une variable importante à considérer. L'analyse des archives permet de mettre en perspective les impacts des événements qui ne sont pas définis comme étant extrêmes d'après les seuils. Dans l'étude de zonage des risques côtiers, l'approche de l'analyse des archives et des conséquences géomorphologiques des événements extrêmes naturels semble plus appropriée qu'une simple approche statistique des données météorologiques.

Dans une perspective de gestion du littoral, l'opinion des résidents est essentielle puisqu'ils sont les premiers touchés par le phénomène d'érosion. Ils sont également les premiers acteurs à réagir face à l'érosion. Une enquête auprès de cinq communautés du golfe du Saint-Laurent a été effectuée totalisant 232 répondants. L'enquête révèle que plus de 40 % des répondants sont affectés par le phénomène de l'érosion côtière. La comparaison des résultats de l'enquête avec les données géoscientifiques montrent que les résidents ont une bonne connaissance des causes de l'érosion, mais ne voient pas les changements environnementaux qui se produisent. Ces changements se forment de façon progressive et sont parfois imperceptibles aux yeux des résidents. Les répondants constatent cependant la diminution importante de la couverture de glace côtière observée depuis la fin des années 1990. Ils remarquent aussi une augmentation des redoux hivernaux, comme le montre les données des températures des stations météorologiques situées dans les régions d'étude. La diminution de la largeur des plages et la hausse du niveau marin relatif ne semble pas perceptible par les résidents. De plus, une majorité des répondants favorisent l'enrochement pour se protéger contre l'érosion côtière, malgré le fait que cette méthode ne soit pas appropriée pour tous les types de côte. Les mesures de protection mises en place sont, d'ailleurs, dans la plupart des cas, inappropriées et ne prennent pas en compte le milieu naturel. Il reste donc encore beaucoup de sensibilisation à faire auprès des résidents sur la dynamique côtière et sur les mesures d'adaptation face aux risques côtiers. La sensibilisation aura comme effet d'augmenter la résilience des résidents face à l'érosion côtière et de diminuer la vulnérabilité des communautés côtières.

INTRODUCTION

L'érosion côtière est un aléa affectant une grande partie de la population mondiale. Ce phénomène, de plus en plus généralisé, s'accélère dans plusieurs régions du monde (Komar, 1998; Paskoff, 2001). La recrudescence de l'érosion est généralement attribuée à l'augmentation de la fréquence des tempêtes, la hausse globale du niveau marin relatif, le déficit sédimentaire grandissant, la subsidence et la pression anthropique sur le littoral (Dolan et Walker, 2004; Storlazzi et Griggs, 2000; Bird, 1993; Paskoff, 2001). Sans faire exception, l'érosion des côtes au Québec s'accroît également depuis une décennie (Bernatchez et Dubois, 2004). Les modifications des conditions environnementales causées par le réchauffement climatique et les perturbations anthropiques seraient responsables de cet accroissement de l'érosion côtière (Bernatchez *et al.*, 2008a). De plus, la concentration importante de la population le long des littoraux suscite des questions face à sa vulnérabilité et à celle des infrastructures. Certains de ces changements environnementaux, tels le déficit sédimentaire des plages, la diminution de la couverture de glace et la hausse du niveau marin relatif augmentent la sensibilité des littoraux aux aléas côtiers. À la suite des études récentes sur les changements climatiques, il y a aussi eu une prise de conscience sur l'importance des contrôles exercés par des événements météorologiques sur les systèmes côtiers (Hill *et al.*, 2004; Keim *et al.*, 2004; Stone *et al.*, 1997; Muller et Stone, 2001; Ranasinghe *et al.*, 2004; Stone *et al.*, 2004; Pepper et Stone, 2004). Ces événements naturels, comme les tempêtes et les pluies, jouent un rôle significatif dans la géomorphologie et l'évolution des côtes. Certains auteurs prévoient une augmentation de l'intensité des tempêtes et des pluies diluviennes (Zhang *et al.*, 2001; GIEC, 2007; Kunkel et Andsager, 1999), ce qui aura comme effet d'augmenter la vulnérabilité des communautés côtières à l'érosion (GIEC, 2007; Lemmen *et al.*, 2008). Cette vulnérabilité dépend, non seulement des conditions environnementales, mais aussi du niveau de connaissances sur les risques naturels que possède une collectivité (Anderson-Berry, 2003). La résilience côtière est directement liée au niveau de vulnérabilité (Klein *et al.*, 1998).

Le projet de recherche s'insère dans une étude interdisciplinaire portant sur la sensibilité des côtes et sur la vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques (Savard *et al.*, 2009; Bernatchez *et al.*, 2008a). Il se divise en deux parties. Dans un premier temps, une analyse de différents types d'archives (journaux, base de données de différents ministères, littérature) a été effectuée afin d'établir des corrélations entre les événements extrêmes naturels et leur impact réel sur les communautés et sur les systèmes côtiers. Elle permet d'apporter des précisions sur les aléas naturels qui affectent les côtes et la population côtière du Québec. Certaines études basent leur analyse sur des données provenant soit des stations météorologiques ou des marégraphes (Cooper *et al.*, 2004 ; Forbes *et al.*, 2004; Dubois et Lessard, 1986). D'autres font parfois référence à des photographies aériennes ou à des cartes (Dubois et Grenier, 1993). Cependant, les études qui intègrent plusieurs types d'archives afin de connaître les impacts socioéconomiques et géomorphologiques des événements extrêmes sur la côte sont rares. Au Québec, ces types d'études sont même inexistantes. Ces archives peuvent identifier et décrire des événements qui ne rencontrent pas nécessairement les seuils utilisés dans l'analyse des données météorologiques. Elles permettent ainsi de s'interroger sur la notion de seuil pour évaluer les événements météorologiques affectant les zones côtières. Dans un deuxième temps, comme les communautés côtières sont les premières à être affectées par l'érosion, il est important dans une perspective d'adaptation d'analyser leurs connaissances et leur perception face au phénomène. Une enquête auprès des résidents nous a permis d'étudier leur capacité de résilience aux aléas côtiers sur la base d'une analyse spatiale de leurs perceptions et des caractéristiques environnementales de leur milieu de vie.

Pour la partie concernant le recensement des événements naturels à partir des archives, les régions d'étude sont celles de Percé, des Îles-de-la-Madeleine ainsi que Sept-Îles sur la Côte-Nord. Les régions de la baie des Chaleurs en Gaspésie et de la Minganie sur la Côte-Nord ont été ajoutées dans la partie qui concerne les perceptions des communautés côtières afin de représenter une plus grande diversité de types de côte, de conditions environnementales et de collectivités côtières.

L'objectif général du projet est d'améliorer la définition des seuils pour caractériser les événements naturels extrêmes générateurs de géorisques côtiers et d'étudier la capacité de résilience des résidents aux aléas côtiers. Les objectifs spécifiques de l'étude sont (1) de réaliser un inventaire des événements naturels extrêmes passés et en préciser les aléas côtiers (2) d'identifier les impacts de ces événements sur les systèmes côtiers et les infrastructures côtières (appendice A) (3) d'intégrer les perceptions des communautés face à l'érosion côtière et aux changements environnementaux dans l'analyse du risque.

Une description des caractéristiques physiques des sites d'étude est tout d'abord réalisée. La géologie, le climat, l'océanographie générale et l'érosion récente des sites d'étude sont brièvement décrits dans ce premier chapitre. Le chapitre 2 du mémoire, qui se présente sous forme d'article, correspond aux résultats et à l'analyse des événements extrêmes retrouvés dans les archives, les seuils des événements et leurs impacts sur la côte. Un second article présente les résultats et l'analyse des perceptions des communautés côtières face aux changements environnementaux, aux aléas naturels et à leur adaptation. Finalement, la troisième partie du document présente une synthèse et une conclusion pour l'ensemble du projet.

PREMIÈRE PARTIE

DESCRIPTION DES SITES D'ÉTUDE

CHAPITRE I

LOCALISATION ET DESCRIPTION DES SITES D'ÉTUDE

Les cinq sites d'étude sont situés dans le golfe du Saint-Laurent dans l'est du Canada, et correspondent plus spécifiquement aux régions de Percé et de la baie des Chaleurs en Gaspésie, aux Îles-de-la-Madeleine ainsi qu'aux régions de Sept-Îles et de la Minganie sur la Côte-Nord (figure 1.1). On y retrouve la majorité des grands types de côtes et d'aléas côtiers présents dans l'est du Canada.

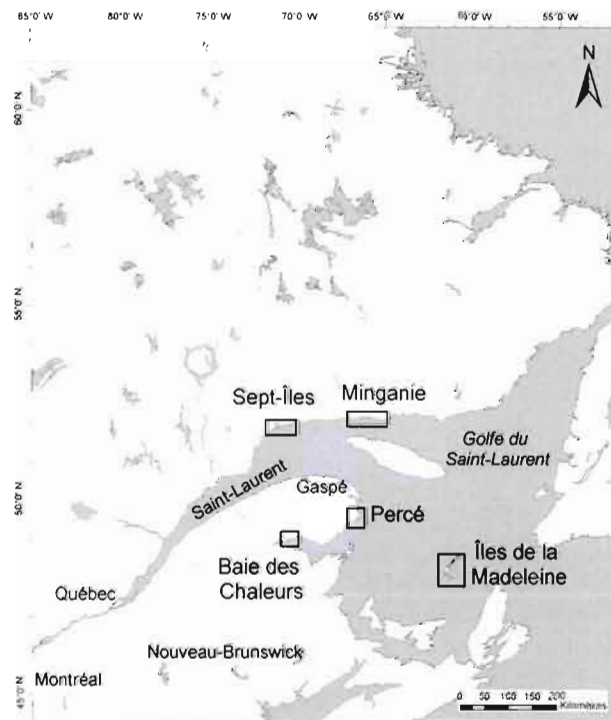


Figure 1.1. Localisation des sites d'étude.

1.1. Région de Percé

La municipalité de Percé se trouve à environ 60 km au sud de Gaspé. La région d'étude, située sur la pointe est de la péninsule gaspésienne et dans la MRC du Rocher-Percé, qui s'étend du nord au sud de Pointe-Saint-Pierre jusqu'au cap d'Espoir (figure 1.2). Entre ces limites se trouvent les secteurs de Barachois et de Bridgeville, le Coin-du-Banc, le village de Percé et l'Anse-à-Beaufils.

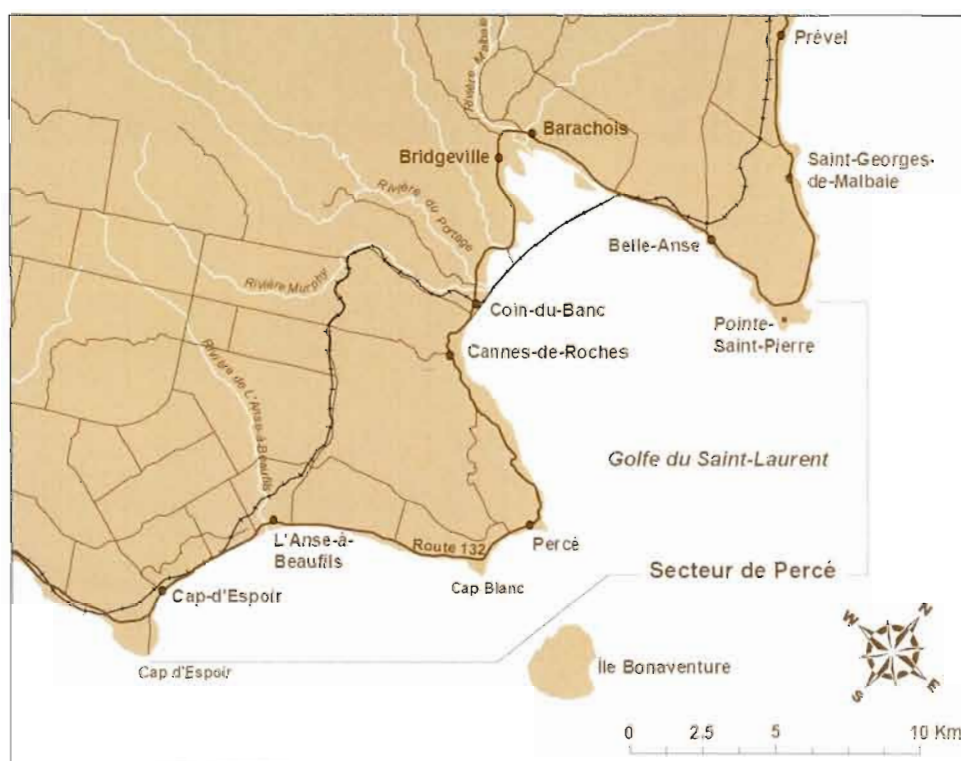


Figure 1.2. Limites de la zone d'étude de la région de Percé (Bernatchez, et al., 2008a).

1.1.1. Géologie et formations meubles

La physiographie de la partie sud de la région se caractérise par un plateau légèrement en pente vers la baie des Chaleurs (Kirkwood, 1989). Ce plateau est disséqué par deux principaux réseaux de drainage : la rivière de l'Anse à Beaufile et du ruisseau McKoy. Ces deux cours d'eau se déversent dans la baie des Chaleurs. Les sommets les plus élevés de la région sont situés au nord et au nord-est du ruisseau de la Côte de la Fourche et atteignent plus de 300 m d'altitude (Kirkwood, 1989). Cette partie est disséquée par la rivière Murphy et du Portage qui se jettent dans la baie de la Malbaie. La partie la plus au nord du secteur à l'étude est occupée par une vallée et la rivière Malbaie qui se jette également dans la baie de la Malbaie. Cette baie présente une lagune quasi-fermée par une longue flèche littorale (figure 1.3).

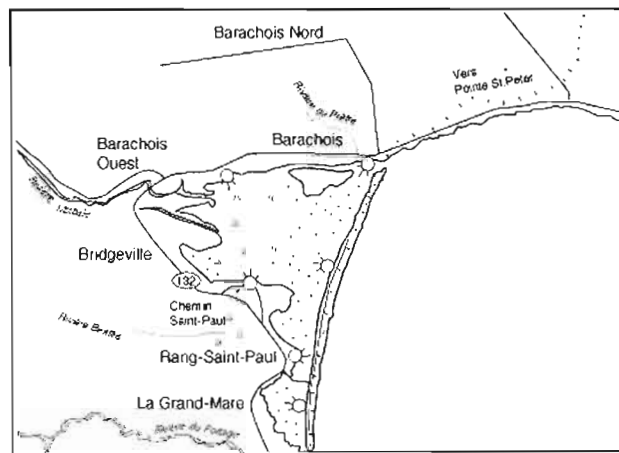
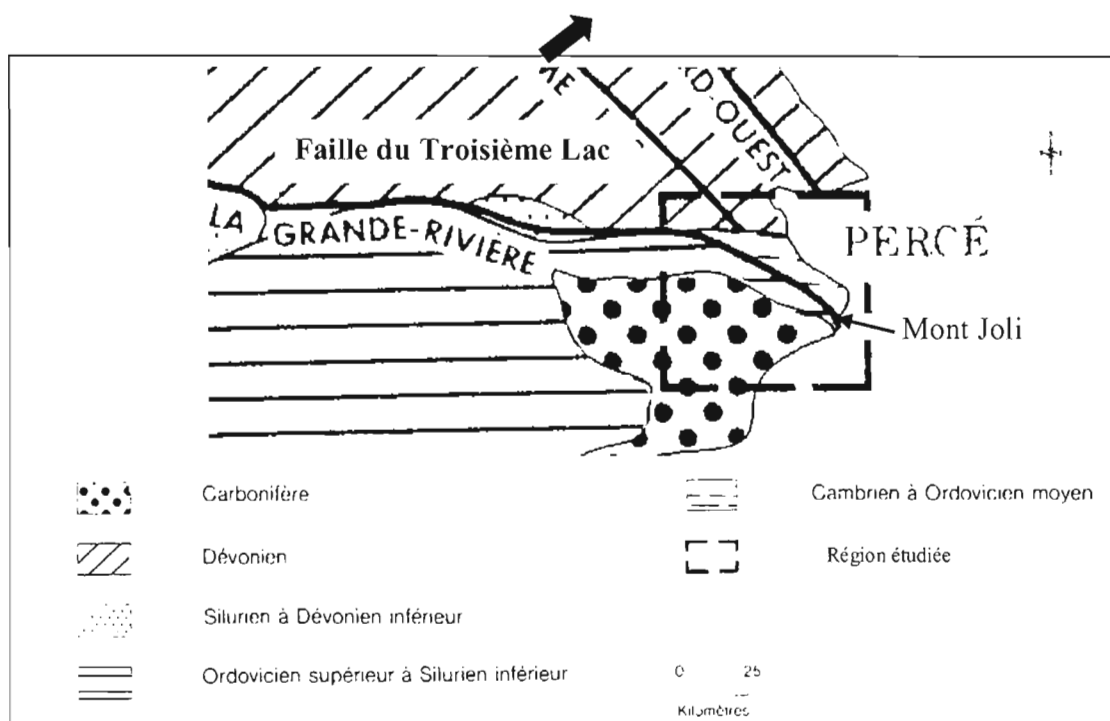


Figure 1.3. Barachois de la rivière Malbaie (Favreau, 2006).

La configuration de la côte de la Gaspésie dépend beaucoup de l'orientation des formations géologiques par rapport au rivage. Le secteur à l'étude offre des formations perpendiculaires au littoral, ce qui lui confère un tracé beaucoup plus échancré que le reste de la côte gaspésienne (Hétu, 1999). Caractérisé par des baies profondes (baies de la Malbaie et l'Anse à Beaufile) qui sont creusées dans les bandes de roches friables, le secteur de Percé se distingue par ses promontoires de roches sédimentaires qui pointent vers la mer (rocher

Percé, cap Blanc et cap d'Espoir). La région de Percé se situe au point de rencontre de deux systèmes majeurs de failles de décrochements dextres : E-O et NO-SE (figure 1.4). La faille de La Grande Rivière forme une zone de failles de direction générale E-O, d'une largeur de 100 à 400 m longeant la rivière du Portage. La faille du Troisième Lac se prolonge sous la couverture de roches carbonifères dans la partie nord-est et borde les strates cambriennes (figure 1.4). Elle appartient au second système, de direction NO-SE, et forme une zone de failles de 200 à 800 m de largeur. Ces failles découpent la région en plusieurs blocs structuraux plus ou moins losangiques, aux lits redressés et cisailés.



Il existe bien peu d'indices directs des dernières glaciations dans la région de Percé (McGerrigle, 1968). Les glaciers ont surcreusé les vallées et ont laissé de faibles placages de till. Ceux-ci recouvrent le roc sur la majeure partie du territoire (Bernatchez *et al.*, 2008a). Un till à matrice fine recouvre le sommet de la haute falaise du mont Joli. À l'intérieur du barachois de la rivière Malbaie se trouve des sédiments deltaïques composés de sable, de

gravier, de silt et de blocs d'une épaisseur variant de 1 à 30 m (Veillette et Cloutier, 1993; appendice B, 1). Veillette et Cloutier (1993) identifie des stries et des sillons d'érosion glaciaire entre le cap Blanc et Percé ainsi qu'entre Belle-Anse et Pointe-Saint-Pierre. Il y a également des sédiments sableux littoraux anciens qui sont exposés à quelques endroits, notamment entre Cap-d'Espoir et L'Anse-à-Beaufils, formant une terrasse de plage (Bernatchez *et al.*, 2008a).

1.1.2. Climat

En général, le climat gaspésien est considéré comme boréal. La forêt est composée essentiellement de conifères et de quelques érablières à basse altitude le long du littoral. Il existe plusieurs microclimats surtout occasionnés par le caractère vertical du paysage (plateaux étagés) et l'influence maritime grandissante près des côtes (Hétu, 1999). Ces microclimats s'expriment par des variations importantes des températures et des précipitations d'un endroit à l'autre de la péninsule. Sur le pourtour de la Gaspésie, les précipitations atteignent 900 mm/an et la température moyenne du mois de juillet demeure assez fraîche sur la rive nord de la péninsule (17 °C) (Hétu, 1999). Celle-ci augmente légèrement dans la baie des Chaleurs (19 °C) (Hétu, 1999). Puisque Percé se situe à l'extrémité de l'embouchure de la baie des Chaleurs, les températures et les précipitations moyennes demeurent entre celles retrouvées dans le nord de la Gaspésie et la baie des Chaleurs (Hétu, 1999). Les stations de Gaspé et de Caplan donnent des normales de températures moyennes annuelles de 2,9 °C et 3,9 °C respectivement. La station de Gaspé montre des normales annuelles des précipitations totales de 1 117,1 mm, alors que celle de Caplan indique une normale un peu plus basse, soit de 984 mm. Dans le cas des normales annuelles des précipitations neigeuses, le phénomène est semblable, soit une quantité de 380 cm pour Gaspé et 230,1 cm pour Caplan.

1.1.3. Océanographie

La région de Percé est bordée par la fosse des Chaleurs, un chenal allongé dans le sens nord-sud qui rejoint le chenal Laurentien. Elle est influencée, d'une part, par les eaux provenant de la baie des Chaleurs qui sont grandement soumises aux influences des eaux douces des rivières et, d'autre part, par le courant de Gaspé (Daigneault, 2001). Ce courant se développe dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent dû à la décharge d'eau douce du fleuve le long de la rive sud (Lavoie, 1997). Il longe la côte nord de la Gaspésie jusqu'à l'isobathe de 30 brasses (54,5 m) où il est dévié vers le sud, établissant une gyre, pour finalement sortir de la baie du côté sud (Daigneault, 2001). La vitesse du courant de Gaspé varie de 0,5 à 1 nœud (Service hydrographique du Canada, 2008).

La côte de Percé est ouverte au grand fetch du golfe du Saint-Laurent. Les marées moyennes à Percé sont de 1,1 m et la ligne des pleines mers supérieures de grande marée atteint 1,7 m. Le niveau enregistré le plus haut est de 2,3 m (Service hydrographique du Canada, 2008). Les courants côtiers atteignent 1,1 nœud lors du flot et 0,7 nœud lors du jusant (Service hydrographique du Canada, 2008).

L'apport d'eau douce à la côte est très restreint. La rivière Malbaie est la seule rivière d'importance qui se trouve sur le territoire d'étude. Elle se jette dans le barachois de la Malbaie avant de rejoindre la mer à Barachois, à l'extrémité de la flèche littorale. Son débit est faible et la superficie du bassin versant du barachois de la Malbaie est de 427 km² (Bernatchez *et al.*, 2008a).

1.1.4. Érosion récente

Dans la MRC de Rocher-Percé, 62,5 % des côtes étaient actives en 2007 (LDGIZC, 2008). Les falaises de grès et de conglomérats de même que les terrasses de plage et les flèches littorales qui caractérisent ce secteur sont particulièrement sensibles à l'érosion.

Le taux de recul moyen est de 0,54 m/an (2005-2008) dans la région de Percé et le pourcentage de côte en érosion est de 32 % (LDGIZC, 2009).

1.2. Région de la baie des Chaleurs

La baie des Chaleurs, située entre la péninsule gaspésienne et le Nouveau-Brunswick, s'étend sur le territoire des MRC de Bonaventure et d'Avignon. Ce projet se concentre sur la portion de la baie des Chaleurs de Nouvelle à New Richmond pour ce qui concerne l'enquête auprès de la communauté (figure 1.5). Une description complète de la baie a cependant semblé nécessaire pour comprendre la dynamique du territoire et pour en avoir une vue d'ensemble.

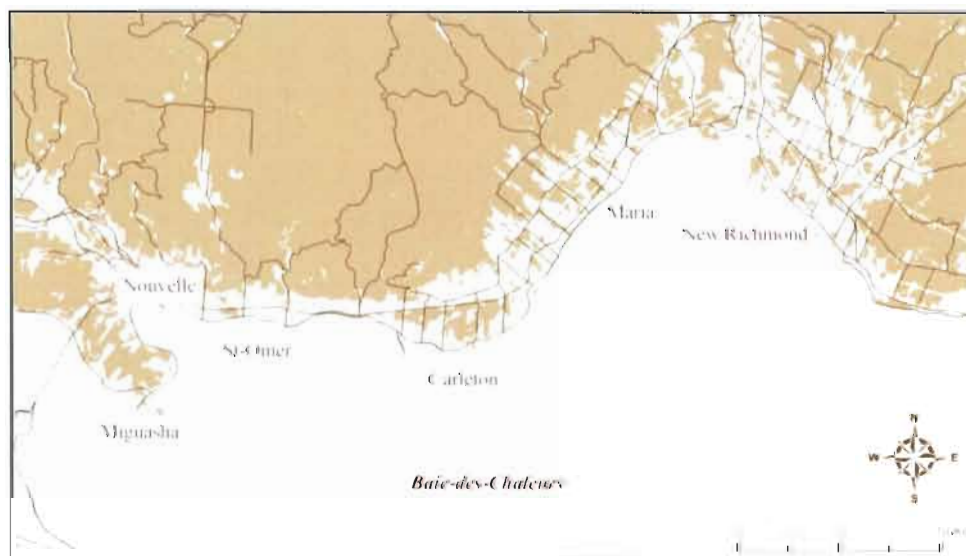


Figure 1.5. Limite de la zone d'étude de la baie des Chaleurs.

1.2.1. Géologie et formations meubles

La formation de Bonaventure correspond à une des deux unités géologiques de cette région et date de la période du Carbonifère (360 millions d'années) (Lachance, 1995). Elle s'étend de la péninsule de Miguasha aux caps Noirs situé à l'est de New Richmond (appendice B ; 2a). Elle est composée de roches sédimentaires constituées de dépôts qui ont été mis en place dans un environnement fluvial. Elle est caractérisée par la présence de grès et de conglomérats de couleurs variant du rouge foncé au vert. L'autre formation géologique, soit la ceinture de Gaspé datant du Silurien, est constituée de shale, de calcaires fossilifères, de conglomérats et de roches volcaniques. Il est possible d'observer des fossiles de bryozoaires à l'intérieur de cette formation.

Certains vestiges du paysage résultent des événements de la glaciation du Wisconsinien (~ 75 ka – 10 ka) et plus spécifiquement, du retrait des glaces lors du Wisconsinien supérieur (~ 23 ka – 10 ka). La baie des Chaleurs constitue une zone charnière où se sont juxtaposés l'inlandsis Laurentidien et plusieurs calottes locales dans un espace-temps réduit (Bail, 1983). Les glaciers ont laissé sur les basses-terres de la baie des Chaleurs de grands ensembles de dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires (Veillette et Cloutier, 1993 ; appendice B, 2a). C'est ainsi que de longues portions du littoral de cette zone sont constituées de côtes deltaïques, directement héritées des eaux de fonte glaciaires. La calotte glaciaire d'Escuminac, dont le centre de dispersion était situé à l'est du Nouveau-Brunswick, se serait écoulée vers le nord-ouest en direction de la région de Paspébiac, soit directement à l'est du secteur à l'étude (Bail, 1983).

Le secteur à l'étude dans la région de la baie des Chaleurs est traversé par trois bassins hydrographiques principaux qui prennent leur source dans les monts Chics-Chocs, à plus de 700 m d'altitude, respectivement d'ouest en est, le bassin de la rivière Nouvelle, celui de la rivière Cascapédia et celui de la rivière Petite Cascapédia.

1.2.2. Climat

La baie des Chaleurs fait partie de la zone climatique continentale humide comme c'est le cas pour l'ensemble de la péninsule gaspésienne. Selon la classification de Litynski (1988), la partie côtière de la région de la baie des Chaleurs est classée au niveau 11 (température = modérée, précipitations = sub-humide, saison de croissance = longue) (appendice C). La température moyenne annuelle est de 3,9 °C et les écarts de températures sont assez grands (2,1 °C). La localisation de la station de Caplan à l'intérieur d'une baie échancrée diminue l'influence de la masse d'eau environnante. En ce qui concerne les précipitations, la normale annuelle des précipitations de la station de Caplan est de 984 mm (Jolivet et Bernatchez, 2005). Elle enregistre un taux de précipitations neigeuses de 230 cm. La normale annuelle des précipitations de pluie est de 753 mm (Jolivet et Bernatchez, 2005).

1.2.3. Océanographie

Les marées sont de type mixte semi-diurne, soit deux oscillations complètes par jour avec inégalité en hauteur et dans le temps (Service hydrographique du Canada, 2008). Leur amplitude dans la baie des Chaleurs, bien que faible, est très variable depuis l'est vers l'ouest. Ainsi, l'amplitude moyenne à la hauteur de Grande-Rivière est d'environ 1,2 m (maximum : 2 m) alors qu'à Campbellton (Nouveau-Brunswick), l'amplitude oscille aux environs de 2,1 m avec des maxima de 3,5 m (Daigneault, 2001). La variation du niveau d'eau est de 3,2 m à l'extrémité amont de la baie des Chaleurs (Pointe-à-la-Croix) lors de la période de vives-eaux (Service hydrographique du Canada, 2008). La vitesse maximale des courants à Carleton est de 2 nœuds.

1.2.4. Érosion récente

Dans les MRC de Bonaventure et d'Avignon, 57 % et 33 %, respectivement, du littoral était en érosion en 2007 (LDGIZC, 2008). Le secteur de Carleton dans la MRC d'Avignon est sensible à l'érosion avec ses falaises deltaïques de sable et d'argile. On y retrouve également des flèches littorales et des terrasses de plage qui demeurent vulnérables à l'érosion côtière. Le taux de recul moyen est de 0,68 m/an dans les secteurs en érosion entre 2005 et 2008 (LDGIZC, 2009).

1.3. Les Îles-de-la-Madeleine

Les îles de la Madeleine sont situées en plein cœur du golfe du Saint-Laurent. Elles sont composées de sept îles habitées reliées les unes aux autres par des tombolos, sauf pour l'île d'Entrée qui se situe à l'est de l'île du Havre Aubert. La superficie de l'archipel est de 202 km² (figure 1.6).

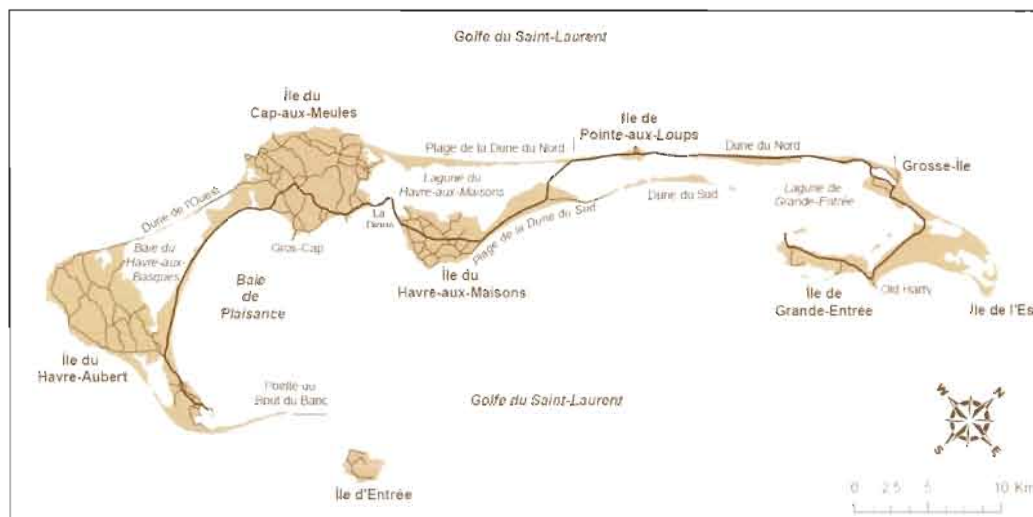


Figure 1.6. Zone d'étude des Îles-de-la-Madeleine (Bernatchez, *et al.*, 2008a)

1.3.1. Géologie et formations meubles

Les roches des Îles-de-la-Madeleine ont été formées au Mississipien et au Permien. Elles se regroupent sous trois formations géologiques: la Formation du Havre-aux-Maisons, du Cap-au-Diable et du Cap-aux-Meules (Brisebois, 1981). La Formation du Havre-aux-Maisons est présente sur l'île de Havre Aubert et sur l'île de Cap aux Meules. Elle est composée de brèche, de mudstone, de grès, de siltstone, de calcaire, de dolomie, de gypse, d'anhydrite, de basalte et de roche volcanoclastique. Dans la zone côtière, cette formation affleure dans les falaises de la baie de Plaisance et au cap du Taureau, au nord du quai de Cap-aux-Meules (Bernatchez *et al.*, 2008a).

La Formation du Cap-du-Diable est également présente sur l'île de Havre Aubert et sur l'île de Cap aux Meules où elle traverse l'île en une bande est-ouest. Elle est constituée de basalte, de roche pyroclastique et de calcaire cristallin (Brisebois, 1981). Ces roches affleurent sur la majeure partie des hautes falaises de la baie de Plaisance et de part et d'autre du cap Taureau, au nord du quai de Cap-aux-Meules. Un affleurement de dykes et de gabbro forme le centre des falaises de la baie de Plaisance (Bernatchez *et al.*, 2008a).

La Formation du Cap aux Meules se retrouve sur toutes les îles et comprend deux membres. Le membre de l'Étang-des-Caps est constitué de grès et de siltstone à laminations obliques géantes. Il est présent sur toutes les îles à l'exception de l'île Brion. Il forme la majorité des côtes rocheuses à l'étude, affleurant sur toute la portion sud de l'île de Cap aux Meules, jusqu'au quai principal. Le noyau rocheux de l'île aux Loups est formé de ce membre. Celui de l'Étang-du-Nord se retrouve aussi distribué sur toutes les îles. Il est composé de grès, de siltstone, de mudstone, de conglomérat et de calcaire (Bernatchez *et al.*, 2008a).

L'hétérogénéité et la complexité des formations meubles aux Îles-de-la-Madeleine ont mené à plusieurs interprétations différentes quant à leur mise en place, partagées entre les hypothèses d'englacement minimaliste et maximaliste, et de submersion ou non par la mer. Plusieurs auteurs ont tenté de démystifier l'origine des dépôts et de déterminer la chronologie des événements glaciaires et des répercussions isostatiques et eustatiques (Goldthwait, 1915;

Alcock, 1941; Laverdière et Guimont, 1974; Prest *et al.*, 1976; Grant *et al.*, 1985; Dredge et Grant, 1987; Dredge *et al.*, 1992; Dubois, 1992).

Selon Dubois (1992), les formations quaternaires sont constituées de till et de sédiments littoraux. D'une épaisseur généralement inférieure à 1 m, les tills sont constitués de sédiments sablo-graveleux hétérogènes qui recouvrent soit directement le socle rocheux ou d'autres formations plus anciennes (Bernatchez *et al.*, 2008a). Une mince couche de gravier littoral se retrouve sur l'ensemble des îles et recouvre aussi le till. Des blocs glaciels très arrondis de roche cristalline peuvent être retrouvés jusque sur les sommets de l'île de la Grande Entrée (43 m), de la Grosse Île (85 m) et de l'île aux Loups (Dubois, 1992). Des sédiments organiques et lagunaires ont été observés sous les sables et les graviers littoraux sur l'île du Havre Aubert. Des tombolos et des flèches de sable se sont formés à l'Holocène entre les îles ou à leurs extrémités. L'épaisseur de ces formations pourrait atteindre plusieurs dizaines de mètres. La surface de ces formations a souvent été remaniée par l'action éolienne en formant des dunes et des cuvettes de déflation et parfois des complexes de dunes chaotiques comme dans le secteur de la dune du Nord (Morin, 2000). Des sédiments éoliens se trouvent aussi au sommet de nombreuses falaises. Ces dépôts sableux sont principalement dérivés des falaises elles-mêmes.

1.3.2. Climat

Le climat retrouvé aux Îles-de-la-Madeleine est unique au Québec et correspond au climat maritime de l'Est. La température moyenne annuelle est de 5,3 °C et les précipitations totales sont de 1 037 mm (Bernatchez *et al.*, 2008a). Les précipitations sous forme de pluie s'élèvent à 738 mm, dont 101 mm se produisent en hiver. Les précipitations annuelles de neige atteignent 231 cm en moyenne. Les moyennes mensuelles de la vitesse maximale des vents varient entre 47 km/h (janvier) et 30 km/h (août) (Owens et McCann, 1980). En général, la direction dominante des vents pour les mois de septembre à juin est du nord-ouest alors que celle pour les mois de juillet et août provient du sud-ouest (Owens et McCann, 1980).

1.3.3. Océanographie

Les Îles-de-la-Madeleine se trouvent près d'un point amphidromique autour duquel la marée se propage dans le golfe du Saint-Laurent (Gagnon, 1997, Comité ZIP des Îles-de-la-Madeleine, 2002). Ce point se situe à environ 50 km à l'ouest des Îles (Drapeau et Mercier, 1990). Les marées et les courants de marée sont ainsi de faible envergure avec 0,6 m de marée moyenne. La ligne des pleines mers supérieures de grande marée se trouve à 1,1 m. La proximité du point amphidromique contribue à modifier le cycle des marées. On retrouve des marées diurnes dans le secteur nord des Îles et un mélange de marées diurnes et semi-diurnes au sud (Comité ZIP des Îles-de-la-Madeleine, 2002). L'extrême de pleine mer enregistré est de 2,4 m et celui de basse mer est de -0,5 m (Service hydrographique du Canada, 2008).

La vitesse maximale des courants de flot et de jusant atteint 1,0 nœud près des côtes des Îles-de-la-Madeleine et autour des pointes (Service hydrographique du Canada, 2008). Le courant de jusant circule en direction sud-est, passant entre la dune de Sandy Hook et l'île d'Entrée. Il se dirige ensuite le long de la côte sud de l'île du Havre Aubert. Le courant de jusant est généralement plus fort que celui de flot et sa vitesse augmente avec des vents d'ouest, alors que celle du courant de flot s'accroît avec des vents d'est (Service hydrographique du Canada, 2008).

La hauteur moyenne des vagues du secteur est des Îles est de 0,35 m en été et de 0,98 m en hiver (Drapeau et Mercier, 1990). La hauteur significative maximale est de 2,0 m en été et de 3,5 m en hiver. Les fetchs mesurent plus de 300 km, hormis pour la direction sud où ils sont limités à 100 km (Drapeau et Mercier, 1990).

1.3.4. Érosion récente

Aux Îles-de-la-Madeleine, le taux de recul moyen annuel est de 1,1 m/an dans les secteurs en érosion entre 2005-2008. L'évolution de ce milieu est grandement influencée par les tempêtes (Bernatchez, 2005b). Le pourcentage de côte active était de 56,5 % pour l'année 2007 (LDGIZC, 2008). Aux îles de la Madeleine, l'évolution de l'artificialisation du littoral joue un rôle important dans la réduction des plages et l'érosion côtière. Dans les années 1960, quelques quais, enrochements et murets de bois constituaient 1,5 % de la longueur totale du littoral (Bernatchez et al., 2008a). Plus tard, l'enrochement est devenu plus étendu et a augmenté jusqu'à 4,2 %. À partir de 1992, une plus grande zone portuaire a été mise en place à Cap-aux-Meules, ce qui a augmenté l'artificialité de la côte à 6,5 % (Bernatchez et al., 2008a). À cause de la mise en place d'une grande variété de types d'infrastructures dans les années 2000, l'artificialisation atteint plus de 13 % en 2006. Le lien entre l'artificialité et la réduction de la largeur des plages est très évident. Au niveau du tombolo reliant les îles de havre Aubert et de Cap aux Meules, les plages dans les zones artificielles sont entre 9 et 13 fois plus étroites que dans les zones naturelles pour les années 1977, 1983, 1992, 2001 et 2007 (figure 1.7a). La largeur de ces plages varie entre 3 et 7 m. Sur le tombolo au nord de l'île de aux Loups, les plages dont le trait de côte est artificialisé sont 58 % plus étroites que les plages naturelles en 2001 et 55 % plus étroites en 2007 (figure 1.7b) (Bernatchez et al., 2008a).



Figure 1.7. Enrochements protégeant la route 199. a) Tombolo avec enrochement (entre Havre-Aubert et Cap-aux-Meules). b) Tombolo avec enrochement (au nord de Pointe-aux-Loups).
photographe : Antoine Morissette, 2006.

1.4. Région de Sept-Îles

La région de Sept-Îles, située dans la MRC de Sept-Rivières sur la Côte-Nord, est délimitée par les villages de Gallix à l'ouest et de Matamec à l'est (figure 1.8). Cette région est formée d'un important complexe deltaïque des rivières Sainte-Marguerite et Moisie. La rivière Sainte-Marguerite a un débit moyen inférieur à celui de la Moisie, soit de 133 m³/s contre 422 m³/s, mais possède trois barrages hydroélectriques, la Moisie aucun (Bernatchez *et al.*, 2008a).



Figure 1.8. Limites de la zone d'étude de Sept-Îles (Bernatchez, *et al.*, 2008a).

1.4.1. Géologie et formations meubles

L'appendice B (3a) montre la géologie et les formations de surface de la région de Sept-Îles. On observe qu'une grande partie des dépôts le long de la baie de Sept Îles sont des silts et argiles (5c de la légende en appendice B, 3b) et que les deltas de la Sainte-Marguerite et de la Moisie sont formés de lits littoraux sommitaux qui recouvrent des lits pré littoraux frontaux et des lits basaux d'eau plus profonde. Cette stratigraphie caractérise les deux deltas où les eaux de fonte se déversaient dans la Mer de Goldthwait (Dredge, 1983). Dans cette région, quelques tourbières forment également le paysage, mais aucune d'elles ne touche directement le littoral. Il existe une tourbière à l'ouest de la rivière Sainte-Marguerite qui est cependant

très près de la ligne de rivage (appendice B, 3a). Les quelques zones rocheuses sont principalement composées de gabbro, d'anorthosite et de monzonite hypersthène et possèdent des surfaces polies ou striées (Dredge, 1983). Dans le secteur à l'est de la ville de Sept-Îles, des sédiments pré littoraux caractérisent les dépôts de surface et sont constitués de sable grisâtre interstratifiés avec du sable silteux (appendice B, 3b).

1.4.2. Climat

Le climat est maintenant considéré comme étant subpolaire sur l'ensemble de la Côte-Nord, alors qu'auparavant il était classé comme un climat tempéré (Litynski, 1988). Cependant, comme ce territoire est très vaste, il existe des variantes entre les différentes régions de la Côte-Nord. Les moyennes annuelles des températures varient entre environ 2,6 °C à l'île d'Anticosti, qui est située dans un climat plutôt maritime, et -2,5 à -5,0 °C à l'intérieur des terres (Dubois, 1996). La température annuelle moyenne, à Sept-Îles, est de 0 °C, alors que les moyennes journalières varient entre 15 °C en juillet et -15 °C en janvier (Dredge, 1983). À cet endroit, les températures maximales extrêmes sont de 32 à 33 °C (Dubois, 1996). Cette région connaît des températures sous le point de congélation pendant 97 jours par année et la période sans gel correspond à 108 jours (Dredge, 1983). Les précipitations annuelles moyennes sont abondantes et bien réparties sur toute l'année. La moyenne annuelle de précipitations est d'environ 1 080 mm, dont 430 mm tombent sous forme solide (Dredge, 1983). Les vents dominants proviennent du nord et nord-ouest durant l'hiver, alors qu'ils sont de l'est pendant la saison estivale. Ils ont une vitesse moyenne de 15 km/h (Dredge, 1983).

1.4.3. Océanographie

La région de Sept-Îles est bordée de deux plateaux sous-marins. Ces plateaux sont des zones marines peu profondes, généralement moins de 100 m, de largeur et de relief variés qui se situent en bordure des chenaux profonds du golfe (Gagnon *et al.*, 1997). De Pointe-des-Monts à la rivière Moisie, la partie est du plateau principal de la région d'étude, soit le plateau des

Escoumins, est de moins de 8 km de largeur et il est peu accidenté. Le plateau s'incline légèrement vers le chenal Laurentien. Le deuxième plateau près de la région de Sept-Îles est celui de la Côte-Nord qui se situe entre la rivière Moisie et le cap Whittle. Celui-ci est beaucoup plus large et accidenté (Gagnon *et al.*, 1997).

Les marées y sont plus souvent semi-diurnes. Elles sont moyennes et leur amplitude augmente de l'est vers l'ouest, passant de 0,9 m à Blanc-Sablon à 3,7 m à Tadoussac (Dubois, 1996). L'onde de marée semi-diurne pénètre dans le golfe du Saint-Laurent par le détroit de Cabot et s'y propage dans le sens anti-horaire autour d'un point situé près de la côte nord-ouest des îles de la Madeleine. Cependant, il y a également une onde de marée diurne qui se propage à partir d'un point situé à l'extérieur du golfe, au large du Cap-Breton. Cette onde pénètre en oblique dans le détroit de Cabot et se propage dans le golfe nord-est au sud-ouest vers le plateau Madelinien. Le marnage est de 2,3 m lors des marées moyennes et de 3,7 m pendant les marées de vive-eaux. Les extrêmes enregistrés sont de 4,0 m pour les pleines mers et de - 0,6 m pour les basses mers. Les vitesses maximales des courants de flot sont de 0,5 nœuds et de jusant sont de 1,0 nœud (Service hydrographique du Canada, 2008).

1.4.4 Érosion récente

La MRC Sept-Rivières a connu une érosion moyenne entre 2000 et 2008 de 1,24 m/an. C'est dans les secteurs de Gallix et de Sept-Îles que l'érosion est la plus importante avec des taux de 1,46 m/an et 1,62 m/an respectivement. Ces environnements sableux, soit des flèches littorales ou des terrasses de plage, subissent en général un plus grand taux moyen d'érosion. Environ 23 % des côtes étaient en érosion en 2007 dans la MRC Sept-Rivières. L'anthropisation de la côte est une cause importante d'érosion dans la région de Sept-Îles et ce phénomène s'est accéléré au cours des 10 dernières années avec le développement accru des zones péri-urbaines. Les processus anthropiques sont très visibles. La figure 4 montre l'évolution du littoral dans le secteur portuaire de Sept-Îles. L'installation progressive des murs de protection et des quais depuis les années 1930 a considérablement modifié le régime

sédimentaire (Lessard et Dubois, 1984). La plage a complètement disparu à la suite de l'expansion urbaine, comme l'indique la photographie de 1996 sur la figure 1.9.

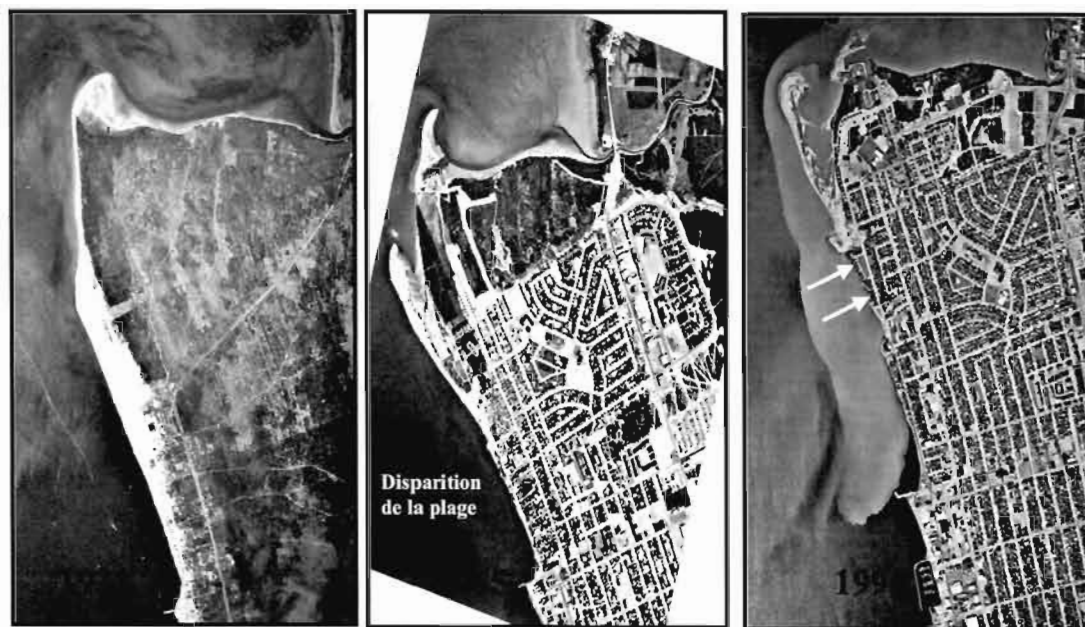


Figure 1.9: Évolution de la ville de Sept-Îles de 1931 à 1996 : celle-ci a eu pour impact la disparition totale de la plage (You, 2003). (photographie aérienne : MRN)

De plus, lors de la mise en eau du troisième barrage sur la rivière Sainte-Marguerite (SM3), le débit du cours d'eau a diminué de 76 % ce qui a créé un abaissement du niveau d'eau moyen de 0,22 m à l'embouchure (Therrien *et al.*, 2001). L'implantation des barrages a modifié le rapport de force entre les régimes fluvial et marin, ce qui a entraîné une plus grande capacité de pénétration des vagues de tempête dans l'estuaire de la rivière (Therrien *et al.*, 2001). À la suite de tous ces événements et modifications humaines, la flèche de la Sainte-Marguerite s'est donc rétrécie 480 m (Therrien *et al.*, 2001). Les flèches littorales, des milieux sableux recouverts de plantes sont également affectées par les processus anthropiques, comme le passage des véhicules tout-terrain et le piétinement. À la suite de la destruction des végétaux, ces activités permettent aux processus éoliens de transporter les sédiments sableux qui ne sont plus retenus par les racines des plantes.

1.5. Région de la Minganie

La Minganie est la zone d'étude la plus au nord du projet. La partie du projet concernant l'enquête auprès des communautés côtières s'est, entre autres, effectuée dans cette région. Cette dernière se situe à environ 200 km à l'est de Sept-Îles et 45 km à l'ouest de Havre-Saint-Pierre. La zone d'étude s'étend de la rivière Saint-Jean jusqu'à la rivière Mingan (figure 1.10).

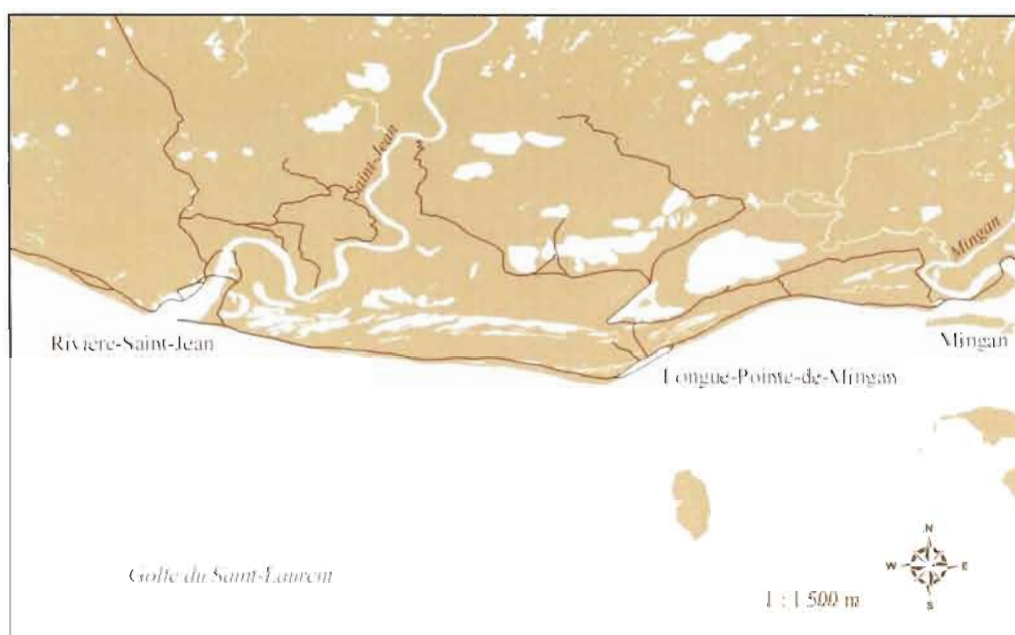


Figure 1.10. Limites de la zone d'étude de la Minganie.

1.5.1. Géologie et formations meubles

La région de Minganie repose sur le Bouclier canadien, plus précisément sur la province de Grenville. Celle-ci est composée de grands complexes d'anorthosite, de quartzites, calcaires cristallins, de roches ignées et de pegmatites (appendice B, 5a). Cette région est constituée de deux importantes rivières, la rivière Saint-Jean et la Mingan. Le littoral est constitué entre autres de falaises verticales d'argiles de la mer de Goldthwait qui sont surmontées par des dépôts deltaïques anciens (Cataliotti-Valdina et Long, 1983). Les sédiments estuariens et

prodeltaïques sont stratifiés horizontalement sur les rivières Saint-Jean et la Mingan (Dubois, 1979). Le littoral est bordé d'une falaise composée d'argile surmontée de sable et gravier à l'ouest de la rivière et à l'est se présente une terrasse de plage dans laquelle a été taillée une basse falaise en microfalaise de sable (Lessard et Dubois, 1984).

1.5.2. Climat

La région de la Minganie est caractérisée soit par un climat tempéré maritime ou un climat sub-polaire sub-humide. La région présente un climat caractérisé par des étés frais et des hivers longs (Parcs Canada, 2009). Le phénomène de brouillard est fréquent dans la région et est causé par les courants froids du Labrador et la forte humidité dans l'air. Les températures moyennes annuelles varient entre $-6,0^{\circ}\text{C}$ et $4,15^{\circ}\text{C}$ et il y aurait en moyenne 160 jours de gel en Minganie (Parcs Canada, 2009). Les précipitations totales annuelles sont de 1129,8 mm dont 356,3 mm sous forme de neige et 774,5 mm sous forme de pluie. (Bernatchez et Quintin, 2007). Le régime des vents à Mingan présente une prédominance des vents d'est et d'ouest. La vitesse moyenne annuelle est de 16 km/h.

1.5.3. Océanographie

Ce secteur est situé dans la partie est des basses-terres du Saint-Laurent dont la majeure partie est submergée et forme une série de plate-formes le long de la Côte-Nord que l'on retrouve à une profondeur atteignant 200 m (Tessier, 1987). La topographie des fonds marins se compose de cuestas issues de la dissection de la plate-forme de la Côte-Nord depuis l'Ordovicien (Tessier, 1987). Quelques cuestas émergent pour former les îles de l'archipel de Mingan. La région d'étude est composée de cinq unités hydrosédimentaires (Dubois, 1979). La dérive littorale générale se produit vers l'est. Les sources de sédiments sur la côte proviennent des rivières (Saint-Jean et Mingan) et des falaises en érosion composées de sable et de silt-argileux. Les sédiments sableux deltaïques issus du cône sédimentaire déposé à l'embouchure de la rivière Saint-Jean et des courants de marée, se disposent sous la forme de

système de barres d'avant-côte (Tessier, 1987). Les sédiments provenant des rivières et des courants littoraux forment aussi des flèches littorales dans les embouchures des rivières.

Le régime des marées est caractérisé par un type mixte à prédominance semi-diurne. L'amplitude moyenne de la marée à Mingan est de 1,68 m et de 1,51 m à Havre-Saint-Pierre. Le marnage des grandes marées est de 2,5 m. Le niveau moyen de l'eau est de 1,1 m et la vitesse maximales des courants est de 4,0 nœuds pour le flot et de 3,0 nœuds pour le jusant (Service hydrologique du Canada, 2008).

1.5.4. Érosion récente

Le taux de recul moyen des secteurs en érosion pour la MRC de la Minganie a été de 1,5 m/an pour la période de 2000 à 2008. Le secteur de Mingan a subi, en moyenne, un recul de 1,9 m/an et un bilan d'érosion atteignant 54 %. Le secteur de Rivière-Saint-Jean a subi un recul de 2,1 m/an et 72 % de la côte est en érosion. Bernatchez (2005a) montre que la tendance à l'érosion se maintient tout au long du littoral de la Côte-Nord.

.

DEUXIÈME PARTIE

RÉSULTATS ET ANALYSES

Mise en contexte de la deuxième partie :

Cette partie est divisée en deux articles dont le premier sera soumis à la revue scientifique *Journal of Applied Meteorology and Climatology* (chapitre II) et le second a été soumis à la revue scientifique *Global Environmental Change* (chapitre III).

CHAPITRE II

L'importance des archives dans l'étude des événements météorologiques extrêmes pour la gestion des géorisques côtiers.

FRIESINGER S.¹, BERNATCHEZ P.²,

¹ Module de géographie, Université du Québec à Rimouski, Québec, Canada.

² Module de géographie, Centre d'études nordiques, Université du Québec à Rimouski, Québec, Canada.

Résumé :

Dans un contexte de changements climatiques, les événements naturels extrêmes représentent une menace de plus en plus présente pour les différentes communautés côtières considérant les changements possibles dans l'intensité et la fréquence des événements. L'analyse des données d'archives sur les événements extrêmes qui sont survenus sur les côtes des régions de Sept-Îles, de Percé et des Îles-de-la-Madeleine a été effectuée. Celle-ci permet d'établir des corrélations entre les événements et les impacts réels. Dans l'étude de zonage des risques naturels côtiers, l'approche de l'analyse des archives et des conséquences géomorphologiques des événements extrêmes semble être plus adéquate qu'une approche statistique des données météorologiques. Elle permet de valider l'utilisation des données des stations météorologiques et d'apporter des précisions sur les seuils qui caractérisent les événements extrêmes. Les vagues de tempête et les pluies diluviennes sont les événements naturels qui semble affecter le plus les côtes des régions d'étude. Les résultats montrent qu'une analyse faite seulement à partir des stations météorologiques surestime le nombre d'événements extrêmes pouvant affecter la côte. Les seuils utilisés dans la littérature sont parfois inadéquats et ne représentent pas les événements extrêmes. Les archives ont permis de faire ressortir les tempêtes qui étaient accompagnées de vents inférieurs à 60 km/h. Dans le cas des événements de pluies diluviennes, la saisonnalité est une variable majeure à tenir en compte. Cette étude a permis de mettre en perspective les impacts de certains événements qui ne sont pas considérés comme étant extrêmes selon les seuils.

Mots clés : *Événements extrêmes naturels, seuils, archives*

2.1. Introduction

Les connaissances sur les contrôles exercés par les événements météorologiques sur les systèmes côtiers se sont améliorées au cours de la dernière décennie (Keim *et al.*, 2004; Stone *et al.*, 1997; Muller et Stone, 2001; Ranasinghe *et al.*, 2004; Stone *et al.*, 2004; Pepper et Stone, 2004). Ces événements naturels, comme les tempêtes et les pluies diluviennes, jouent un rôle significatif dans la morphologie et l'évolution des côtes. L'intensité des tempêtes et les effets qu'elles auront sur le littoral sont définis par de nombreux facteurs, dont la durée de la tempête, la direction, la force et la vitesse des vents, l'interaction entre le vent et les vagues, l'amplitude des vagues, les changements dans le patron des vagues lors de l'événement, le fetch, le type et l'orientation de la côte et la bathymétrie des zones côtières (MacClenahan *et al.*, 2001; Cooper *et al.*, 2004; Regnaud *et al.*, 2004; Allan et Komar, 2006). Tous ces facteurs déterminent si une tempête aura un effet d'érosion ou d'accumulation sur le littoral ou encore si le littoral demeurera stable. Dans un contexte de changements climatiques, certains auteurs prévoient une augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes et des pluies diluviennes (Zhang *et al.*, 2001; GIEC, 2007; Kunkel et Andsager, 1999). La fréquence de tempêtes de forte intensité serait en augmentation de 20 % pour la saison estivale nord-atlantique (Geng et Sugi, 2003). Cette augmentation serait due à une diminution de la baroclinicité et à une augmentation du gradient de température. L'intensité des tempêtes d'hiver serait, de façon générale, plus importante que l'intensité des tempêtes d'été dans l'hémisphère Nord, notamment dans le golfe du Saint-Laurent (Mesquita, *et al.*, 2008; Zhang, *et al.*, 2004). Les tempêtes d'été auraient cependant une durée plus longue, tendraient à être plus faibles et seraient plus stables que celles d'hiver. Il existe cependant des exceptions où les tempêtes d'été auraient une intensité plus grande que les tempêtes d'hiver, notamment dans la baie et le détroit d'Hudson, dans le bassin Foxe, près des Rocheuses de l'Ouest canadien et dans le nord du Québec (Mesquita *et al.*, 2008). En plus du changement possible dans le régime des tempêtes, la hausse du niveau marin relatif associée au réchauffement climatique appréhendé (GIEC, 2007) a une influence importante sur l'érosion des côtes ainsi que sur les communautés côtières (Shaw *et al.*, 1998; GIEC, 2007; Lozano *et al.*, 2004). Avec une hausse du niveau marin relatif, le temps de retour des niveaux d'eau extrêmes sera fortement réduit (GIEC, 2007).

Les changements dans le régime des précipitations sont difficilement observables. Le GIEC (2007) remarque, surtout dans l'hémisphère Sud, une corrélation entre les précipitations au-dessus des continents et la densité de nuage. Pour l'hémisphère Nord, cette corrélation est également visible, mais le manque de données mesurées au Canada et aux États-Unis a obligé leur exclusion dans l'analyse des précipitations et de la couverture nuageuse (GIEC, 2007). Parmi les événements météorologiques extrêmes, les pluies diluviennes sont importantes à considérer en raison de leur impact sur le milieu naturel et les infrastructures. Les précipitations diluviennes sont généralement la cause principale des mouvements de masse qui peuvent affecter les falaises littorales (Bernatchez et Dubois, 2004; Colantoni *et al.*, 2004; Hénaff *et al.*, 2002).

Les événements qui ont eu des impacts majeurs sur le milieu naturel et sur les communautés peuvent, en fonction des critères choisis, être définis comme étant des événements extrêmes. Ces critères sont habituellement variables d'une étude à l'autre. Il peut y avoir une grande part de subjectivité. Les événements peuvent être caractérisés selon leur impact sur le milieu humain ou sur le milieu naturel, de même que par les conditions physiques intégrales. Dans le contexte de l'évaluation des risques naturels côtiers et de leur gestion pour l'aménagement du territoire et de la prévision du niveau de vulnérabilité des communautés côtières aux changements climatiques, plusieurs questions se posent lorsque vient le temps de définir un zonage du risque ou des mesures d'adaptation en lien avec les événements météorologiques extrêmes. Doit-on utiliser une approche statistique basée sur l'intensité et la fréquence des événements météorologiques extrêmes? Si oui, quels seuils doit-on utiliser ? Quel est le véritable lien entre les événements mesurés à l'aide des stations météorologiques et l'ampleur de l'impact des aléas sur la zone côtière ?

À l'exception des données provenant des stations météorologiques, des marégraphes, des photographies aériennes et des cartes (Cooper *et al.*, 2004 ; Forbes *et al.*, 2004 ; Dubois et Grenier, 1993; Dubois et Lessard, 1986), les études qui intègrent plusieurs types d'archives (journaux, bases de données, photographies de terrain, etc.) afin de connaître les impacts socioéconomiques et géomorphologiques des événements extrêmes sur la côte sont rares.

Au Québec, ce type d'étude est même inexistant. Ces archives peuvent identifier des événements extrêmes qui ont eu des impacts sur la côte et qui sont en-dessous des seuils utilisés pour désigner un événement extrême.

Cette étude a comme premier objectif de réaliser un inventaire des événements naturels extrêmes passés survenus dans le golfe du Saint-Laurent à l'aide de diverses archives et de préciser les aléas côtiers qu'ils ont provoqué. Ceci permettra ensuite d'identifier les impacts de ces événements sur les systèmes côtiers et les infrastructures côtières. La comparaison des événements provenant des archives avec ceux provenant de l'analyse des données météorologiques et des trajectoires de tempêtes permet finalement d'apporter des précisions sur les seuils qui caractérisent les événements extrêmes ayant causé des dommages sur la côte dans une perspective de gestion des risques côtiers.

2.2. Définition des seuils utilisés pour décrire les tempêtes et les pluies diluviennes

Il existe une multitude de valeurs de seuils utilisées pour décrire les événements météorologiques extrêmes selon les objectifs poursuivis par les différentes études (tableau 2.1). Certains seuils des tempêtes ne sont pas nécessairement définis en fonction des milieux côtiers, mais plutôt de manière générale. Il est encore plus rare que les seuils soient établis en fonction d'une analyse des impacts que les tempêtes ont eu sur la côte (Dolan et Davis, 1992). Plusieurs auteurs se fient sur les données météorologiques tirées des stations météorologiques pour identifier et comprendre les événements de tempête (Carter et Stone, 1989; Dubois et Lessard, 1986; Lewis et Morgan, 1984 ; Valton, 1981; Owens et McCann, 1980). Ils ne s'entendent pas nécessairement sur les différents seuils qui caractérisent les événements extrêmes, tant sur la vitesse du vent minimale que sur la durée qu'elle doit se maintenir au-dessus du seuil sélectionné. Ces paramètres sont importants puisqu'en milieu côtier un vent orienté vers la côte avec une vitesse de 80 km/h et une durée de douze heures peut créer une surcote de 1 m (Paskoff, 2001). L'échelle de Beaufort qui caractérise l'intensité des vents et leurs effets sur la mer et la côte est souvent utilisée (Trzpit, 1977; Valton, 1981; Grenier, 1993; Lewis et Morgan, 1984; Dubois et Lessard, 1986; Dawson *et al.*, 2004).

Tableau 2.1 Différents seuils de tempête et de pluie diluvienne trouvés dans la littérature.

Type d'événement	Seuil	Objectif	Référence
Tempête (vents)	≥74 km/h (vitesse de pointe) ≥92 km/h (vitesse de pointe)	Impacts géomorphologiques Analyse climatique	Trzpit, 1977 Valton, 1981
Tempête (vents)	≥90 km/h (pour ≥1h, 3h, 6h) ≥115 km/h (pour ≥1h et 3h)	Impacts géomorphologiques	Owens et McCann, 1980
Tempête (vents)	≥19 km/h (pour ≥ 6h)	Impacts géomorphologiques Analyse climatique	Hale et Greenwood, 1980
Tempête (vents)	≥89 km/h (10 sur l'échelle de Beaufort)	Impacts géomorphologiques Analyse climatique	Lewis et Morgan, 1984 Grenier, 1993
Tempête (vents)	≥74 km/h (pour ≥ 3h)	Impacts géomorphologiques	Dubois et Lessard, 1986
Tempête (vents)	≥37 km/h (pour ≥ 5h)	Impacts géomorphologiques	Carter et Stone, 1989
Tempête (vents)	≥115 km/h (combinaison de l'échelle Saffir/Simpson et échelle de Halsey)	Impacts géomorphologiques Analyse climatique	Dolan et Davis, 1992
Tempête (vents)	≥37 km/h (pour ≥ 6h)	Analyse climatique	Hirsh <i>et al.</i> , 2001
Tempête (vents)	≥55 km/h (pour ≥ 24h) ≥93 km/h (pour ≥ 5h) ≥111 km/h (pour ≥ 1h)	Analyse climatique	MacClenahan, <i>et al.</i> , 2004
Tempête (vents)	≥80 km/h (pour ≥ 1h)	Impacts géomorphologiques Analyse climatique	Paskoff, 2001
Tempête (vents)	≥50 km/h (pour ≥ 1h) ≥87 km/h (vitesse de pointe)	Analyse climatique	Environnement Canada
Tempête (vents)	≥63 km/h (pour 10 min, 8 sur l'échelle de Beaufort)	Analyse climatique	Dawson <i>et al.</i> , 2004
Pluie diluvienne	≥30 mm (pour 24h-printemps) ≥50 mm (pour 24 h- été et automne) ≥25 mm (pour 1h)	Impacts géomorphologiques Analyse climatique	Lacroix et Boivin, 1991
Pluie diluvienne	≥50 mm (pour 24h)	Analyse climatique	Karl <i>et al.</i> , 1996
Pluie diluvienne	≥25 mm (pour 24h) ≥50 mm (pour 3h)	Impacts géomorphologiques Analyse climatique	Environnement Canada
Pluie diluvienne	≥50 mm (pour 24h)	Impacts géomorphologiques Analyse climatique	Bernatchez <i>et al.</i> , 2008
Pluie diluvienne	10 % des événements de pluie les plus élevés/saison/station et doivent s'être produit au moins 3 fois dans un an.	Analyse climatique	Zhang <i>et al.</i> , 2001
Pluie diluvienne	≤25 mm à 150 mm / 7 jours / récurrence 1 an = selon la région (150 mm pour région côtière) 15 mm à 100 mm / jour / récurrence 1 an = selon la région 25 mm à 150 mm / jour / récurrence 5 ans = selon la région	Analyse climatique	Kunkel et Andsager, 1999
Pluie diluvienne	Maximum de précipitation en 24h pour une récurrence de 20 ans Maximum de précipitation en 5 jours pour une récurrence de 20 ans	Analyse climatique	Kharin <i>et al.</i> , 2005

Selon cette échelle, les effets sur terre et sur mer deviennent plus significatifs à partir des seuils compris entre 62 et 74 km/h (force 8 de l'échelle de Beaufort). Certains auteurs utilisent l'échelle Saffir-Simpson pour décrire les tempêtes tropicales en combinaison à l'échelle de Halsey qui suggère un index des dommages potentiels des tempêtes (Dolan and Davis, 1992; Simpson, 1971; Saffir, 1977; Halsey, 1986). Dans les régions côtières avec couvert de glace saisonnier, certaines études excluent de leur analyse les événements survenus lors de la période glacielle (Lewis et Morgan, 1984; Grenier, 1993). Or, dans le contexte de la réduction du couvert de glace littorale en lien avec le réchauffement climatique, il est fort possible que les tempêtes d'hiver aient un impact significatif sur la côte et la communauté, d'autant plus qu'elles sont plus nombreuses en hiver (Bernatchez et Dubois, 2004; Valton, 1981; Trzpit, 1977). L'utilisation de seuils élevés pourrait aussi faire en sorte d'exclure certains événements ayant pu endommager la côte.

Comme les seuils sont différents d'une étude à l'autre, il est alors difficile de faire des analyses statistiques et comparatives entre les résultats des différentes recherches. Comme peu d'études ont quantifié l'effet réel des tempêtes sur les systèmes côtiers, il est donc difficile de définir un seuil minimal à partir duquel il y aura un impact sur le littoral. Dans une perspective de gestion des risques côtiers et d'aménagement du territoire, nous croyons qu'il est approprié, en vertu du principe de précaution et des différentes études consultées, de retenir initialement un seuil minimal de vitesse du vent de 60 km/heure pendant au moins une heure pour définir un événement de tempête à l'aide de stations météorologiques.

Pour ce qui est des seuils des pluies diluviennes, les auteurs ne s'entendent pas non plus (tableau 2.1). Les seuils sont généralement établis selon l'intensité des précipitations pour une période donnée ou encore, de façon plus pragmatique, on désigne comme pluie diluvienne celle entraînant une inondation locale (Environnement Canada, 2002). Les seuils peuvent aussi être variables selon les saisons et les régions physiographiques (Lacroix et Boivin, 1991; Karl *et al.*, 1996; Zhang *et al.*, 2001). Les seuils peuvent également être définis et analysés en termes de quantité et de récurrence (Kunkel et Andsager, 1999; Kharin *et al.*, 2007). En gestion des risques côtiers, les seuils des pluies diluviennes devraient être considérés en fonction des processus d'érosion qu'elles peuvent déclencher dans les falaises et les versants côtiers. Colantoni *et al.* (2004) ont étudié la corrélation entre les mouvements de masse et les précipitations. Ils utilisent un seuil de 750 mm de pluies en moyenne dans une année pour engendrer des inondations et des mouvements de masse, mais précisent également que l'infiltration de l'eau doit être considérée comme un agent contribuant à l'érosion côtière. Notre analyse intègre les seuils utilisés dans différentes recherches faites au Québec (Lacroix et Boivin, 1991; Jolivet et Bernatchez, 2005). Ceci permet d'intégrer leurs résultats sur les événements extrêmes dans notre recherche. Ces recherches définissent des seuils horaires selon la saison de l'année.

2.3. Région d'étude

Les trois sites d'étude, soit les régions de Percé en Gaspésie, des îles de la Madeleine et de Sept-Îles sur la Côte-Nord, sont situés dans le golfe du Saint-Laurent, dans l'est du Canada (figure 2.1). Ces régions ont été choisies afin de représenter la majorité des systèmes côtiers et des aléas naturels présents dans le Québec maritime ainsi qu'une grande diversité d'activités socioéconomiques et d'infrastructures côtières pouvant être affectées par des événements météorologiques extrêmes (Bernatchez *et al.*, 2008).

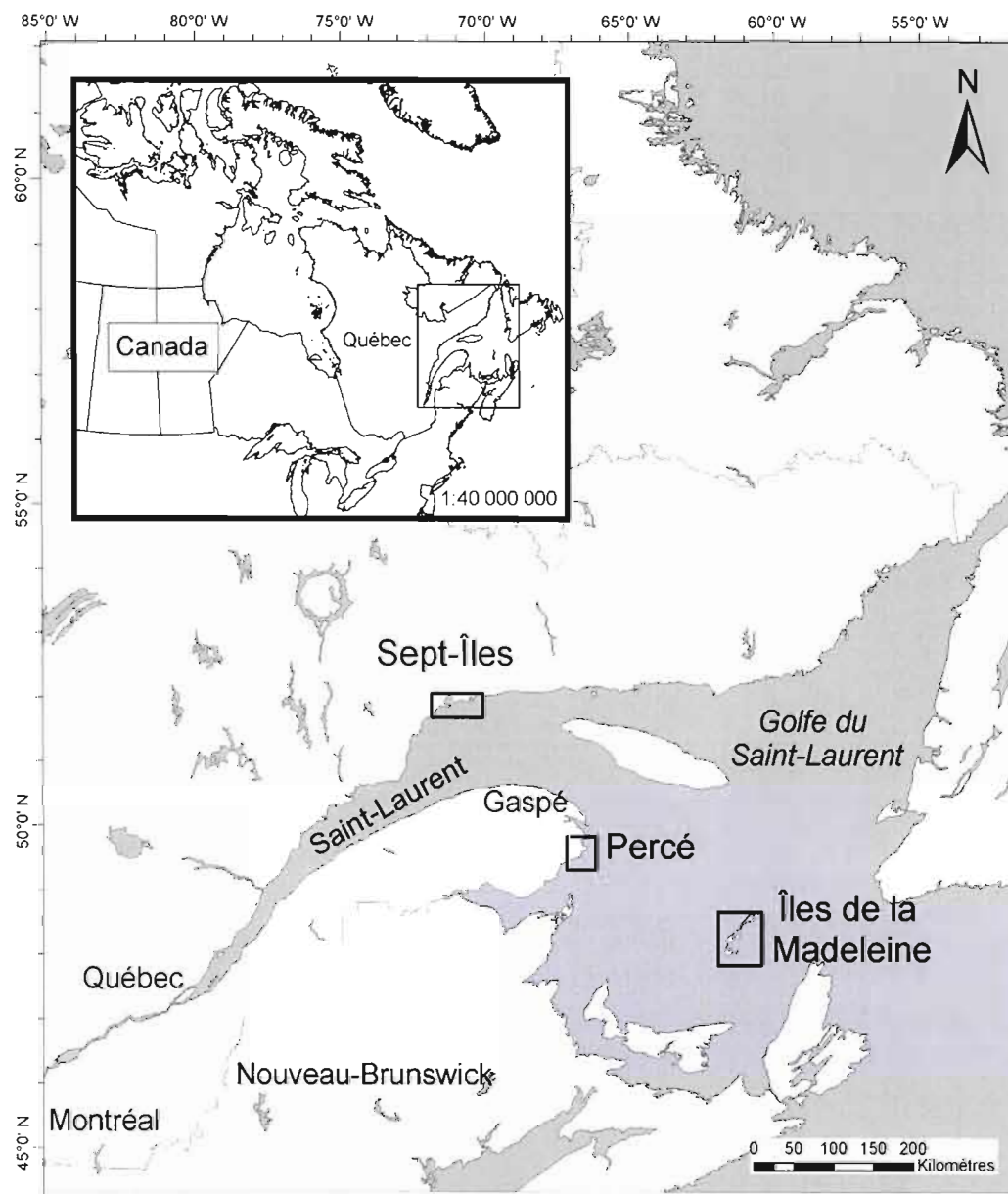


Figure 2.1. Localisation des régions d'étude.

2.4. Méthodologie

Une première recherche dans différents types d'archives a été réalisée afin de construire une liste d'événements naturels ayant eu un impact sur les communautés côtières. Ensuite, une analyse des données météorologiques des vents et des pluies a permis de connaître les conditions météorologiques survenues lors des événements trouvés dans les archives. L'inventaire des trajectoires de tempêtes réalisé par Ouranos (Savard *et al.*, 2009) a aussi été analysé et comparé aux données d'archives.

2.4.1. Données d'archives

L'inventaire des événements naturels extrêmes a été effectué à partir de plusieurs catégories de documents (tableau 2.2). Pour chacune des régions à l'étude, le ou les journaux locaux ont été dépouillés (tableau 2.2). Cette recherche a été réalisée d'une façon systématique, couvrant tous les articles de journaux. La section « régional » et « nouvelle générale » des journaux nationaux a aussi été dépouillée. Des documents municipaux ont aussi révélé plusieurs événements. La littérature scientifique a permis de cibler des événements extrêmes remontant jusque dans les années 60 (Lewis et Morgan, 1984 ; Dubois et Lessard, 1986 ; Grenier et Dubois, 1993). Lacroix et Boivin (1991) avaient déjà compilé les événements de pluie diluvienne entre 1979 et 1988 pour l'ensemble du Québec, ce qui a permis de dresser la liste des événements pour les régions de Sept-Îles et de Percé. Des bases de données et des documents des ministères de la Sécurité Publique et des Transports du Québec sur les impacts des tempêtes et l'argent versé pour indemniser les personnes touchées par les dommages causés à leur propriété ont été analysés.

À la suite d'une analyse de ces archives, il a été possible de connaître les dates des événements qui ont eu un impact sur la côte, tant d'un point de vue géomorphologique que socio-économique. Cette recherche a permis d'identifier les phénomènes naturels caractérisant les événements extrêmes. Les phénomènes principaux (ou de premier ordre) et

les phénomènes secondaires associés aux événements ont été identifiés. Dans certains cas, seuls les phénomènes secondaires ont pu être identifiés dans les archives.

Tableau 2.2. Journaux et autres documents consultés pour chaque région d'étude.

Région	Sept-Îles	Percé		Îles de la Madeleine	
Journal local	Le Nord-Est (1988-2007)	Le Pharillon (1973-1991)	Le Havre (1977-2007)	Le Radar (1968-2007)	
Journaux régionaux	Le Soleil (1979-2006)	La Presse (1980-2005)	Le Soleil (1979-2006)	La Presse (1980-2005)	Le Soleil (1979-2006)
Littérature	-Dubois et Lessard, 1986 (1960-1977); -Lacroix et Boivin, 1991 (1979-1988)		Lacroix et Boivin, 1991 (1979-1988)		- Grenier, 1993 (1963-1983) - Lewis et Morgan, 1984 (1957-1983)
Autres documents	Documents municipaux de la ville de Sept-Îles (1983-1997)		Documents des ministères de la Sécurité publique et des Transports du Québec (1977-2005)		Documents des ministères de la Sécurité publique et des Transports du Québec (1975-2005)

2.4.2 Données météorologiques

Les stations météorologiques présentes dans les régions d'étude ont fourni les données météorologiques servant à l'analyse des vents et des pluies (tableau 2.3).

Tableau 2.3. Stations météorologiques de chaque région et années de couverture.

Région	Sept-Îles	Percé		Îles de la Madeleine
Station	Aéroport de Sept-Îles	Aéroport de Gaspé	Cap-d'Espoir	Aéroport des Îles-de-la-Madeleine
Vents	1953-2007	1968-2006	1994-2007	1978-2007
Pluies	1945-2005	1916-2002	-	1983-2007

a) Données des vents et seuils des tempêtes

Les tempêtes de vents extrêmes ont été analysées selon deux seuils, soit des vents soufflant à ≥ 60 km/h et à ≥ 74 km/h pendant au moins une heure. Les données météorologiques utilisées sont des données horaires de vent qui indiquent la moyenne des vents pendant une heure.

b) Données des pluies

Les seuils utilisés pour la caractérisation des pluies diluviennes sont ceux de Lacroix et Boivin (1991), soit :

- 30 mm et plus de pluie en 24 heures pour le printemps ;
- 50 mm et plus de pluie en 24 heures pour la saison estivale et automnale
- 25 mm et plus de pluie en 1 heure sans saison spécifique.

Ces seuils se rapprochent davantage de ceux utilisés pour l'analyse des aléas (Jolivet et Bernatchez, 2005). Pour la saison hivernale, le seuil a été établi à 25 mm et plus/jour.

Les différentes dates pour chaque saison sont les suivantes (Arlot *et al.*, 2001):

hiver : 21 décembre au 20 mars ;

- printemps : 21 mars au 20 juin ;
- été : 21 juin au 20 septembre ;
- automne : 21 septembre au 20 décembre.

2.5. Résultats

2.5.1. Analyse des événements tirés des archives

Dans la région de Sept-Îles, le nombre d'événements naturels extrêmes s'élève à 36 entre les années de 1960 à 2007 (tableau 2.3), soit un peu moins d'un événement par année (0,75 événement/an) et une récurrence de 1,3 an. Parmi eux, les deux phénomènes principaux qui sont ressortis sont les vagues de tempête et les pluies diluviennes. Il y a eu 23 événements de vagues de tempête (63,9 %) et 11 événements (30,6 %) de pluies. Dans 5,5 % des cas (2 événements), le phénomène principal n'est pas spécifié dans aucune des archives examinées. Les phénomènes secondaires y sont cependant indiqués (inondations, rafales et glissements de terrain notés décrochements dans les articles de journaux).

Pour Percé, 28 événements naturels ont eu un impact sur la communauté entre les années 1977 et 2007 (0,9 événement / an), dont 10 impliquant des fortes pluies (35,7 %) et 10 des vagues de tempête (35,7 %) (tableau 2.3). La récurrence de ces événements extrêmes est d'environ 1 an. Huit d'entre eux ont été décrits dans les archives par des inondations, des glissements de terrain, de forts vents ou des glaces. Ces derniers n'ont pu être caractérisés autrement faute d'explications plus précises.

Aux îles de la Madeleine, 49 événements extrêmes ont été répertoriés dans les archives entre les années 1963 et 2007 (1,1 événement / an) (tableau 2.3) avec une récurrence de 0,92 an. Vingt d'entre eux impliquaient des vagues de tempête (40,8 %) et 16 événements (32,7 %) rapportés dans les archives mentionnaient que de forts vents avaient eu un impact important sur la population. Près du tiers du total des événements ont engendré d'autres phénomènes, soit de fortes pluies, un gel-dégel occasionnant un glissement de terrain ou la présence de glaces engendrant une inondation. Aussi, parmi ces derniers, certains ne mentionnent que les phénomènes secondaires.

Tableau 2.4. Événements naturels extrêmes tirés des archives pour chaque région.

Région	Type d'événement (phénomène principal)	Pluies	Récur-rence (an)	Vagues de tempête	Récur-rence (an)	Autres	Total d'événements	Récur-rence (an)
Sept-Îles (1960-2007)	Nombre d'événements	11	4,36	23	2,09	2	36	1,33
	Proportion (%)	30,6		63,9		5,5	100	
Percé (1977-2007)	Nombre d'événements	10	3,1	10	3,1	8	28	1,11
	Proportion (%)	35,7		35,7		28,6	100	
Îles de la Madeleine (1963-2007)	Type d'événement (phénomène principal)	Vents	2,8	Vagues de tempête	2,25	Autres	Total d'événements	0,92
	Nombre d'événement	16		20		13	49	
	Proportion (%)	32,7		40,8		26,5	100	

Les événements ont été, pour la plupart, accompagnés par d'autres phénomènes naturels (tableau 2.4). À Sept-Îles comme à Percé, les événements de pluies ont provoqué des glissements de terrain. Certains ont aussi été caractérisés par des inondations et de forts vents. Quant aux événements de vagues de tempête, ils ont été accompagnés, dans beaucoup de cas, de forts vents et de hautes marées. Dans trois des cas de vagues de tempête dans la région de Sept-Îles, les glaces ont joué un rôle déterminant dans l'événement extrême. À Percé, une des tempêtes était accompagnée de précipitations de neige et de pluie.

Tableau 2.5. Événements naturels extrêmes tirés des archives (1960 à 2007) survenus dans les régions de Sept-Îles et de Percé (phénomène principal et phénomènes secondaires).

Région	Type d'événements (phénomène principal)	Pluies					Vagues de tempête					
	Autres événements (phénomènes secondaires)	Glissements de terrain	Inondations ¹	Vents	Pluies seulement	Total	Vents	Hautes marées ²	Glaces	Vagues seulement	Inondations	Total
Sept-Îles	Nombre d'événements	5	2 (3)	2	2	11	11	6 (7)	2(3)	3	1	23
	Proportion (%)	45,4	18,2	18,2	18,2	100	47,8	26,1	8,7	13	4,3	100
	Proportion (%) sur les 36 événements	13,8	5,6	5,6	5,6	30,6	30,6	16,7	5,6	8,3	2,7	63,9
Percé	Autres événements (phénomènes secondaires)	Glissements de terrain	Inondations ³	Vents	-	Total	Vent seulement	Vagues seulement	Hautes marées ⁴	Précipitations (neige et pluie)	-	Total
	Nombre d'événements	4	4(5)	2	-	10	2(3)	5	2(6)	1(3)	-	10
	Proportion (%)	40	40	20	-	100	20	50	20	10	-	100
	Proportion (%) sur les 28 événements	14,3	14,3	7,1	-	35,7	7,1	17,9	7,1	3,6	-	35,7

¹ Un événement a eu à la fois des inondations et un autre phénomène (glissements de terrain).

² Deux événements ont eu à la fois des hautes marées et un autre phénomène (rafales ou glaces).

³ Un événement comprend un glissement de terrain et une inondation.

⁴ Quatre des événements impliquant de hautes marées étaient aussi caractérisés par de forts vents et/ou des précipitations.

Pour ce qui est des îles de la Madeleine, la plupart (80 %) des événements de vagues de tempête ont été accompagnés par de forts vents (tableau 2.5). Six des cas se distinguent par de fortes pluies combinées à de forts vents et des marées hautes. Dans le cas où le vent a eu l'impact le plus important, la neige en poudrière en amplifiait les effets. Selon les archives, près de 20 % des tempêtes surviennent donc en saison froide.

Tableau 2.6. Événements naturels extrêmes tirés des archives (1963 à 2007) survenus aux îles de la Madeleine (phénomène principal et phénomènes secondaires).

Région	Type d'événement (phénomène principal)	Vent				Vagues de tempête				
	Autres événements (phénomènes secondaires)	Neige (poudrière)	Vents seulement	Vagues de tempête et pluies	Total	Pluies	Vagues de tempête seulement et submersion	Vents	Hautes marées	Total
Îles de la Madeleine	Nombre d'événements	10	4	2	16	0(6)	3	16	1(2)	20
	Proportion (%)	62,5	25,0	12,5	100	0	15,0	80,0	5,0	100
	Proportion (%) sur les 49 événements	20,4	8,2	4,1	34,7	0	6,1	32,7	2,0	40,8

La figure 2.2 représente le nombre d'événements de pluies, de vagues de tempête et de vents, tirés des archives, qui sont survenus sur la côte des trois régions d'étude selon les différents mois dans l'année. La plupart des événements de vagues de tempête se sont produits durant les mois d'octobre à décembre et certains durant les mois de janvier et février. Les pluies surviennent plutôt au printemps et en automne. Aux îles de la Madeleine, les mois d'octobre, de novembre et de décembre sont les périodes où la mer est la plus agitée. En janvier et février, ce sont surtout les forts vents qui dominent. Au printemps, tous les types de phénomènes sont présents. Dans le golfe du Saint-Laurent, les événements extrêmes ayant eu un impact sur la côte sont plutôt rares pendant la période estivale.

Figure 2.2. Nombre d'événements extrêmes, tirés des archives, survenus dans chaque mois dans les régions d'étude.

2.5.2. Données météorologiques historiques

a) Données météorologiques des vents

Plusieurs événements extrêmes peuvent être identifiés par l'analyse des données météorologiques. Le nombre d'événements varie cependant selon la méthode d'analyse utilisée. Dans la région de Sept-Îles, 298 tempêtes ont été répertoriées, c'est-à-dire 1 814 heures de tempête avec des vitesses initiales et finales de 60 km/h ou plus (tableau 2.6). Selon ce seuil, la récurrence des tempêtes est de 0,18 an. La vitesse moyenne des vitesses maximales atteintes lors des tempêtes retenues selon les critères de cette recherche est de 68 km/h. Sur les 298 tempêtes qui ont été répertoriées, il y a eu 58 événements dont la vitesse maximale des vents a atteint 74 km/h ou plus pendant au moins une heure, c'est-à-dire environ 19,5 % des événements.

Les données des vents pour la région de Percé ont été analysées à partir de deux stations météorologiques, soit celle de Gaspé localisée dans le fond d'une baie et celle de Cap-d'Espoir localisée en bordure d'une falaise exposée aux vents du golfe. Même si elles sont localisées dans la même région, la situation géographique locale des stations météorologiques est un facteur déterminant pour l'enregistrement des événements de tempêtes côtières. La récurrence des tempêtes est respectivement de 0,95 et 0,17 pour les stations de Gaspé et de Cap-d'Espoir alors que la vitesse moyenne des vitesses maximales est de 65 km/h et 68 km/h (tableau 3.5). La station de Cap-d'Espoir représente beaucoup mieux le climat littoral. Peu importe la station, le nombre de tempêtes diminue fortement si le seuil utilisé est de ≥ 74 km/h.

Aux îles de la Madeleine, les données météorologiques présentent un nombre total de 332 tempêtes avec une moyenne des vitesses maximales de 68 km/h (tableau 2.6). La récurrence y a la plus forte avec une valeur de 0,09. Le nombre de tempêtes ayant eu une vitesse maximale de ≥ 74 km/h est de 80 ce qui représente 24 % de l'ensemble des événements.

Tableau 2.7. Nombre de tempêtes selon les données des vents et la période des tempêtes pour les trois régions.

Stations météorologiques	Période	Nombre de tempêtes Vit. max \geq 60 km/h	Durée totale (heures)	Récur- rence (an)	Vit. moyenne des vit. maximales (km/h)	Nombre de tempêtes : Vit. max \geq 74 km/h	Répartition annuelle des événements (%): Vit. max \geq 74 km/h	Récurrence (an)
Sept-Îles	1 janv. 1953 au 31 déc. 2007	298	1 814	0,18	68	56	19	0,96
Gaspé	1 janv. 1968 au 31 déc. 2006	40	64	0,95	65	3	8	12,7
Cap d'Espoir	1 janv. 1994 au 31 déc. 2007	76	498	0,17	68	12	16	1,08
Îles de la Madeleine	1 ^{er} janv. 1978 au 31 déc. 2007	332	2 252	0,09	68	80	24	0,36

Pour les trois régions, les tempêtes se produisent surtout durant l'hiver (figure 2.3).

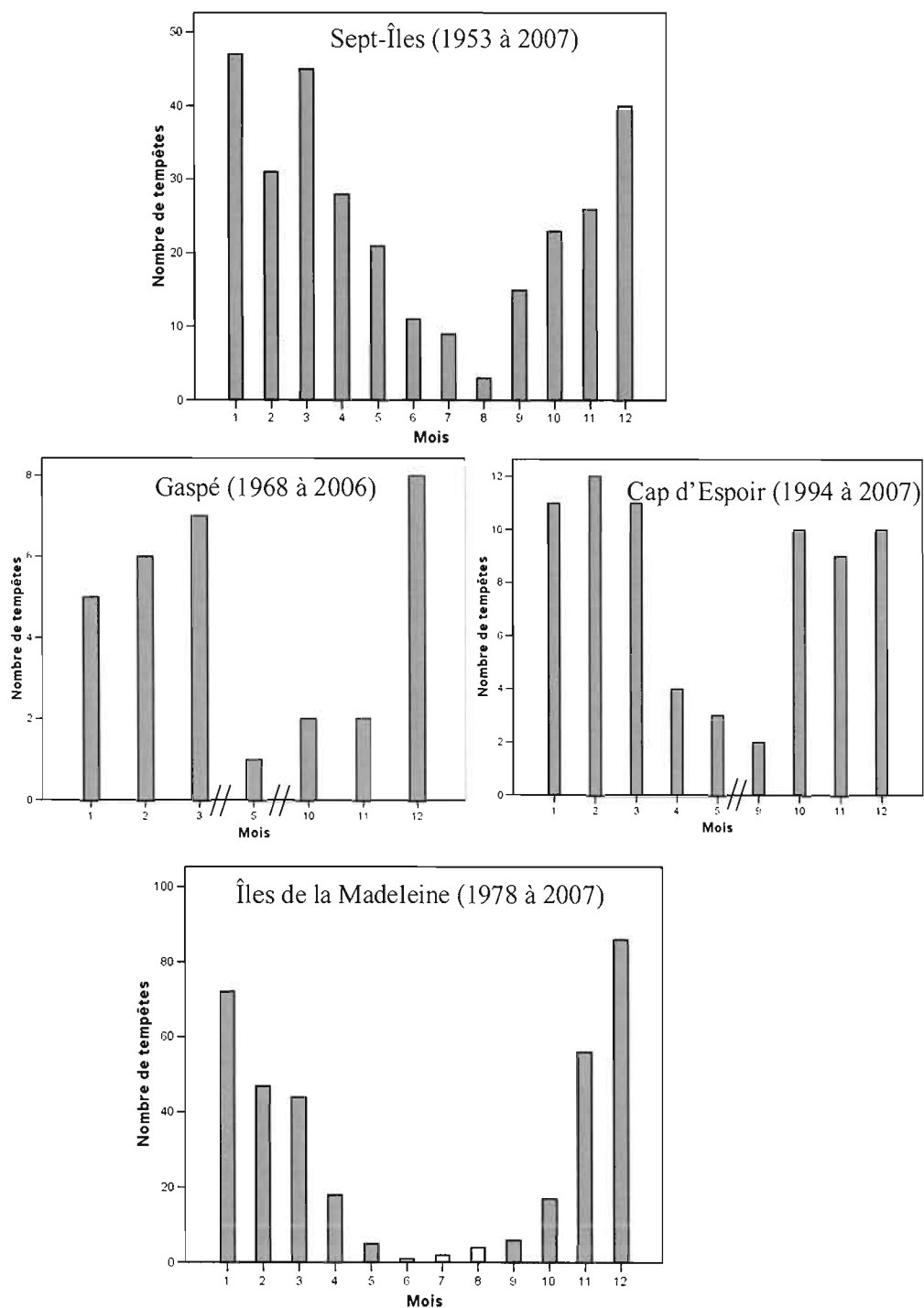


Figure 2.3. Répartition du nombre de tempête selon les mois.

b) Données météorologiques des pluies diluviennes

Le régime des précipitations est, en général, très difficile à analyser, car il est nécessaire de considérer plusieurs facteurs, dont la topographie, la pression atmosphérique, les vents principaux et secondaires, etc.

Dans la région de Sept-Îles, grâce aux données météorologiques sur les pluies, il est possible d'identifier 93 événements de pluie de grande ampleur. Le tableau 3.6 montre que la plupart des événements, soit plus de la moitié, surviennent au printemps. Le seuil de 30 mm et plus/jour pour le printemps étant plus faible que celui de l'été et de l'automne, qui est de 50 mm et plus/jour, entraîne la possibilité d'un plus grand nombre d'événements susceptibles d'atteindre le seuil. D'ailleurs, lorsqu'on établit le seuil au printemps à 50 mm de pluie par jour, il n'y a que 5 événements de pluie diluvienne qui apparaissent (tableau 2.7). Sur les 93 événements de pluie diluvienne, 26 sont survenus durant la saison estivale et automnale, alors que 15 se sont produits lors de la saison hivernale. Les événements estivaux et automnaux sont toujours plus impressionnants quant à la quantité de pluie tombée pendant une journée. D'ailleurs, dans cette région, un des plus importants événements est survenu pendant l'automne, soit le 3 novembre 1966 où les quantités ont atteint les 114,6 mm dans une seule journée.

Pour la région de Percé, les données des stations indiquent 132 événements de pluie diluvienne dont 52 sont survenus au printemps. Le tableau 3.6 montre donc que les événements de pluie diluvienne surviennent en majorité au printemps, soit dans 39 % des cas. Il n'y a eu que 12 événements ayant reçu plus de 50 mm de pluie par jour pour la saison printanière (tableau 2.7).

La région des îles de la Madeleine a subi 46 événements de pluie diluvienne selon les seuils établis au départ (tableau 2.7). Les pluies surviennent dans 41 % des cas au printemps, 37 % des événements surviennent en été. Contrairement aux deux autres régions, il y a peu d'événements à l'automne. En hiver, huit événements de pluie sont survenus dans la région selon les données météorologiques.

Tableau 2.8. Nombre d'événements de pluie diluvienne selon la saison pour les trois régions d'étude.

Région	Saison (seuil)	Période	Nombre d'événements	Réurrence (ans)	Répartition annuelle des événements (%)
Sept-Îles (1945-2005)	Hiver (25 mm)	21 décembre - 20 mars	15	4,1	16,1
	Hiver (50 mm)	21 décembre - 20 mars	1	61	1,1
	Printemps (30 mm)	21 mars - 20 juin	45	1,4	48,4
	Printemps (50 mm)	21 mars - 20 juin	5	12,2	5,4
	Été (50 mm)	21 juin - 20 septembre	16	3,8	17,2
	Automne (50 mm)	21 septembre - 20 décembre	17	3,6	18,3
	Total		93	0,7	100
Percé (Gaspé-1916-2002)	Hiver (25 mm)	21 décembre - 20 mars	25	3,5	18,9
	Hiver (50 mm)	21 décembre - 20 mars	2	43,5	1,5
	Printemps (30 mm)	21 mars - 20 juin	52	1,7	39,4
	Printemps (50 mm)	21 mars - 20 juin	12	7,3	9,1
	Été (50 mm)	21 juin - 20 septembre	17	5,1	12,9
	Automne (50 mm)	21 septembre - 20 décembre	38	2,3	28,8
	Total		132	0,7	100
Îles de la Madeleine (1983-2007)	Hiver (25 mm)	21 décembre - 20 mars	8	3,1	17,4
	Hiver (50 mm)	21 décembre - 20 mars	1	25	2,2
	Printemps (30 mm)	21 mars - 20 juin	19	1,3	41,3
	Printemps (50 mm)	21 mars - 20 juin	2	12,5	4,3
	Été (50 mm)	21 juin - 20 septembre	17	1,5	37,0
	Automne (50 mm)	21 septembre - 20 décembre	2	12,5	4,3
	Total		46	1,9	100

2.5.3. Comparaison des résultats des archives avec ceux des stations météorologiques

Les figures 2.4a et 2.4b montrent la proportion d'événements extrêmes tirés des archives selon leur condition de vitesse de vent ou de la quantité de pluie tombée enregistrée aux stations météorologiques. On remarque que les événements de tempêtes qui ont eu un impact sur la communauté ont, pour une grande majorité, des vents qui excèdent 40 km/h. Cependant, les tempêtes caractérisées par des vents moins forts peuvent aussi engendrer des dégâts. En effet, entre 5 et 22 % des cas de tempêtes ayant eus des impacts surviennent quand les vents soufflent à moins de 40 km/h. Pour ce qui est des pluies diluviennes, entre 20 et 40 % des événements selon l'endroit ont des impacts importants sur la population malgré qu'ils soient en dessous des seuils mentionnés dans la littérature. De manière générale, plus de 50 % des événements de pluies qui ont eu des impacts présentaient tout de même des précipitations supérieures à 50 mm (figure 2.4b).

À Sept-Îles, dix événements de vagues de tempête (43,5 % du total de ces événements) ne rencontrent pas le seuil de 60 km/h dans les données climatiques (tableau 2.8). La comparaison des données de pluies de la station météorologique de Sept-Îles avec les événements de pluie diluvienne tirés des archives fait ressortir un seul événement dans les archives qui ne correspond pas au seuil des pluies diluviennes (tableau 2.8). Les précipitations survenues le 6 août 1981 ont été de 9,8 mm selon les données météorologiques de la station, malgré qu'il y ait eu plusieurs dommages liés aux pluies. Paradoxalement, les archives de journaux indiquent des précipitations de 58 mm ce qui est considéré comme diluvien selon les seuils établis au départ.

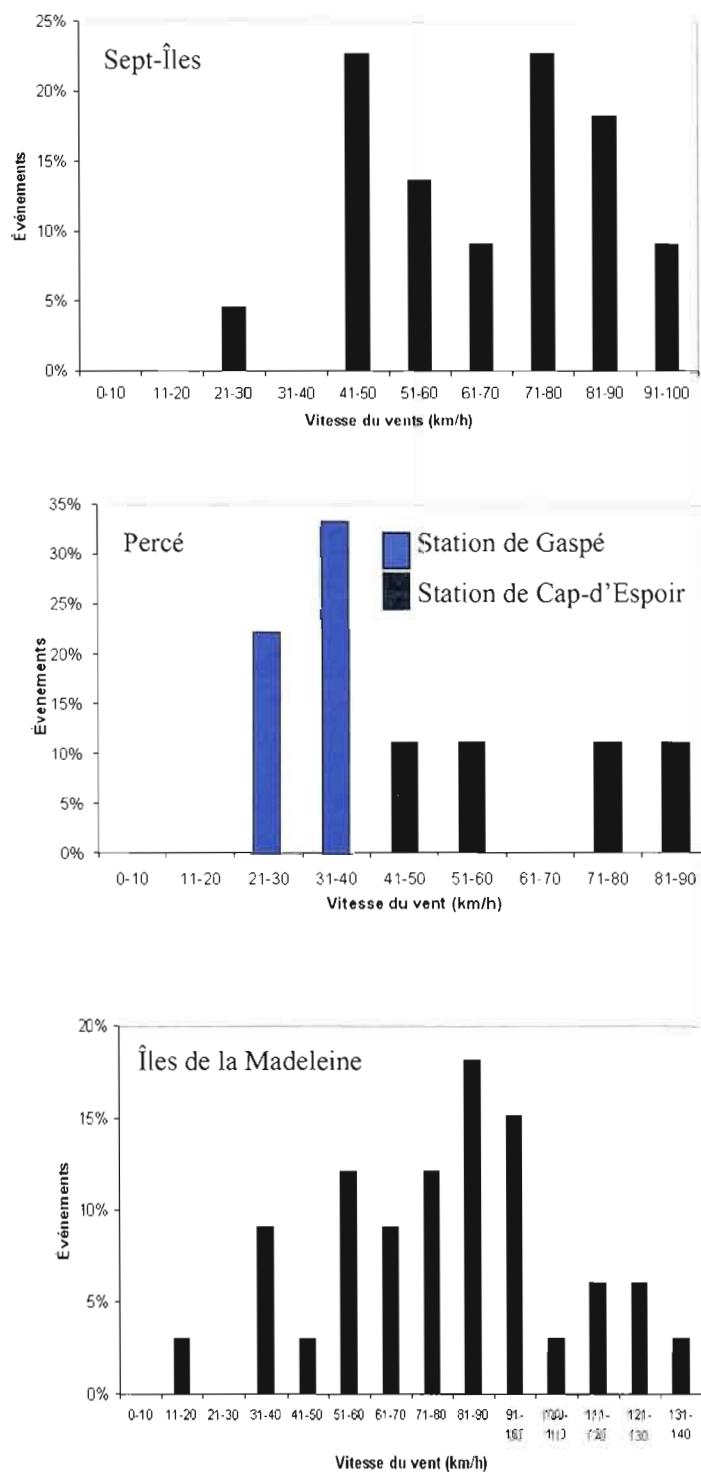


Figure 2.4a. La proportion d'événements extrêmes en fonction des conditions de vents pour les trois régions.

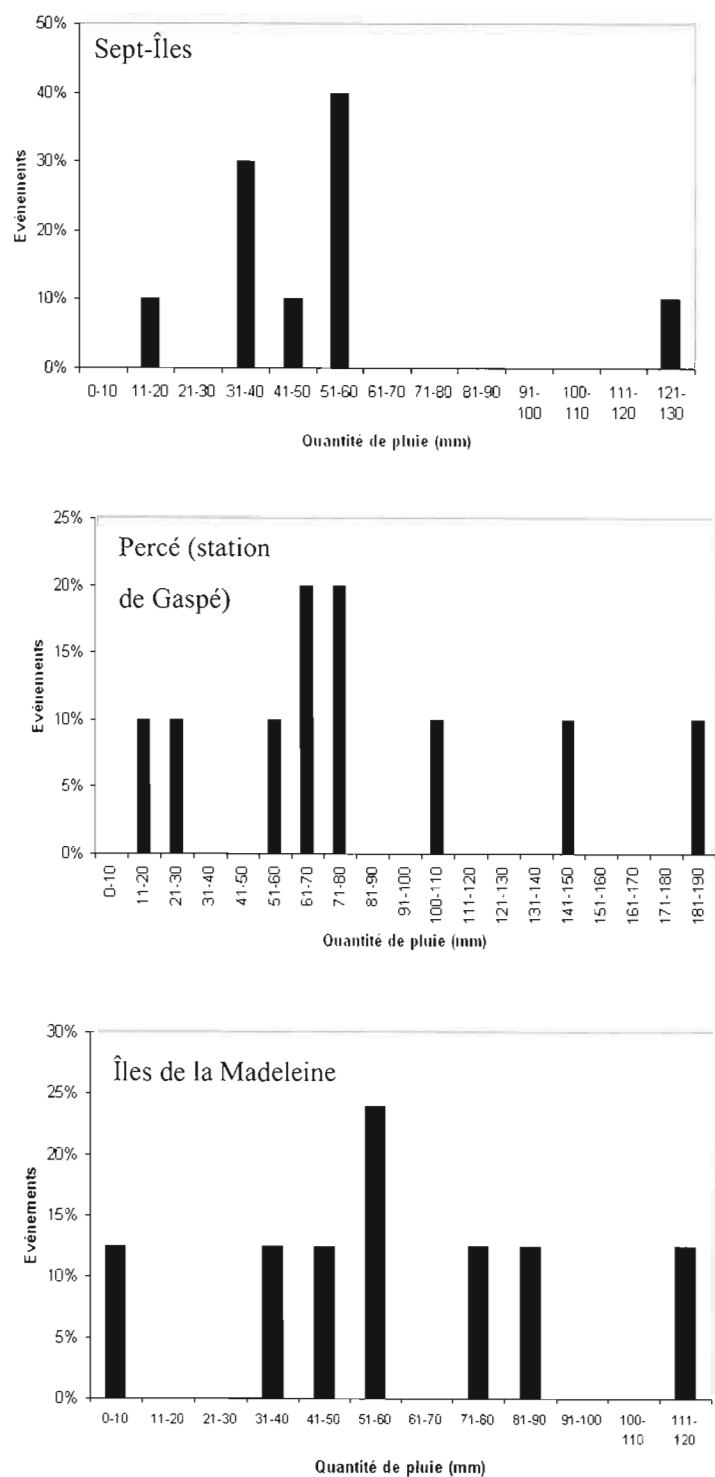


Figure 2.4b. La proportion d'événements extrêmes en fonction des conditions de pluies pour les trois régions.

Le tableau 2.8 montre qu'il y a une majorité d'événements de tempête (60% des événements), à Percé, qui ne rencontrent pas le seuil établi dans l'analyse des données météorologiques des vents des stations de Gaspé et de Cap-d'Espoir. Sept événements de pluie diluvienne tirés des archives de journaux correspondent aux données météorologiques des pluies (70 %), alors que trois événements ne sont pas visibles dans ces données (30 %) selon le seuil de pluie diluvienne (tableau 2.8). L'événement du 16 mai 1979 dont les données météorologiques indiquent des précipitations de 16,8 mm et celui du 26 au 28 février 1998 avec des précipitations de 22 mm ne correspondent pas à des cas de pluie diluvienne. Selon les données météorologiques, le mois de janvier 1980 n'a connu que 6,9 mm de pluie.

Aux îles de la Madeleine, les données des vents de la station météorologique exposent plusieurs événements de forts vents et de vagues de tempête (tableau 2.8). Quelques événements ne rencontrent pas les seuils de tempête ou de pluie diluvienne. Cinq événements de vagues de tempête trouvés dans les archives ne sont pas représentés dans les données. Pour ce qui est des forts vents, 11 événements ont pu être reconnus dans la base de données alors que trois événements ne sont pas représentés dans les données. Pour ce qui est des données de pluies, il y a cinq événements qui atteignent les seuils et deux événements qui ne les atteignent pas (tableau 2.8).

Tableau 2.9. Nombre d'événements de vagues de tempête présents ou absents dans les données météorologiques pour les trois régions.

Région	Phénomène	Présence dans les données météorologiques selon les seuils établis	Nombre d'événements	Proportion (%)
Sept-Îles	Vagues de tempête	Oui	13	57
		Non	10	43
		Total	23	100
	Pluies	Oui	10	91
		Non	1	9
		Total	11	100
Percé	Vagues de tempête	Gaspé Oui	3	30
		Non	1	10
		Cap d'espoir Oui	1	10
		Non	5	50
		Total	10	100
	Pluies	Oui	7	70
		Non	3	30
		Total	10	100
Îles-de-la-Madeleine	Vagues de tempête	Oui	9	64
		Non	5	36
		Total	14	100
	Vents	Oui	11	79
		Non	3	21
		Total	14	100
	Pluies	Oui	5	71
		Non	2	29
		Total	7	100

La tendance des tempêtes selon les données des stations météorologiques est en diminution pour l'ensemble des régions (figure 2.5). Il faut spécifier cependant que le coefficient de détermination n'est pas élevé pour aucune courbe. À partir des archives, la fréquence des tempêtes est plus importante depuis 1994 pour la région de Sept-Îles et depuis 2000 pour les îles de la Madeleine. Parmi tous les cas répertoriés dans les archives depuis 1968 pour chaque région, sept événements ont eu un impact important sur le littoral à l'échelle du golfe du Saint-Laurent, c'est-à-dire qu'ils ont touché au moins deux régions sur trois (tableau 2.9). Trois de ces sept événements de tempête se sont produits depuis 2000. On pourrait alors s'attendre à une tendance à l'augmentation des tempêtes dans les données météorologiques, ce qui n'est pas le cas.

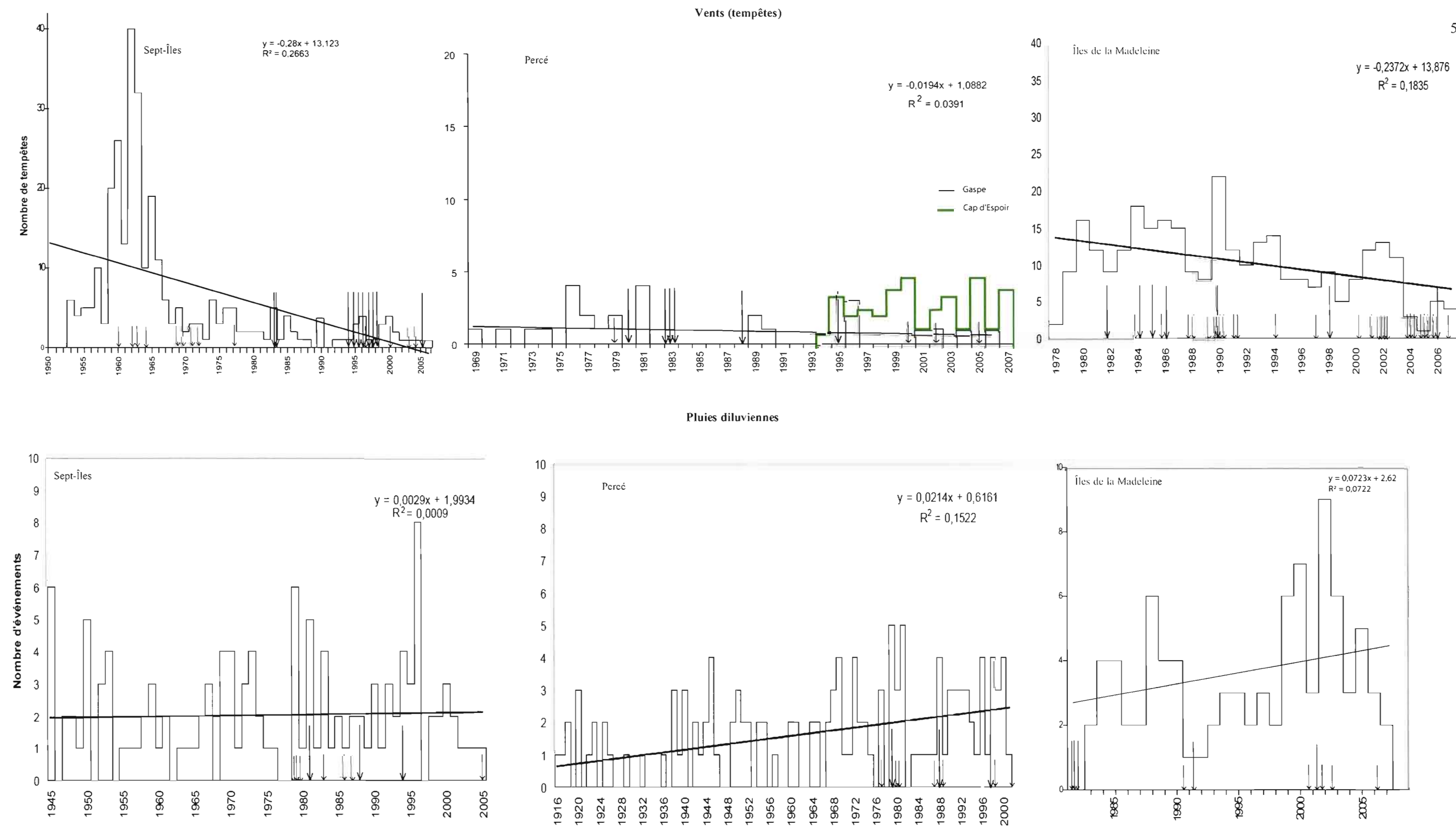


Figure 2.5. Données météorologiques des vents (tempêtes) et des pluies diluviennes pour les trois régions et événements extrêmes tirées des archives identifiés par les flèches. Les grandes flèches représentent les événements des archives absents dans les données météorologiques alors que les petites flèches désignent les événements des archives visibles dans les données météorologiques.

Tableau 2.10. Événements naturels extrêmes survenus au niveau régional.

Dates	Direction du vent	Sept-Îles	Percé	Îles-de-la-Madeleine
5 décembre 1968	E/S-O	X		X
26 octobre 1980	E/S	X	X	
7 et 8 décembre 1983	E	X	X	
10 décembre 1995	E/S-O	X	X	
28 et 29 octobre 2000	N-E	X	X	X
18 novembre 2002	N-E/N		X	X
15 et 16 octobre 2005	E/N-E	X	X	X
Total		6	6	4

Les pluies diluviennes montrent une tendance inverse aux tempêtes (figure 2.5). Percé et les Îles-de-la-Madeleine connaissent une hausse plus marquée que Sept-Îles où l'on voit une légère augmentation. Encore ici, les coefficients de détermination ne sont pas élevés. Sur la base des données d'archives, on ne peut tirer de tendance sur la fréquence des pluies diluviennes qui ont eu un impact sur le littoral.

2.6. Discussion

2.6.1. Événements de tempêtes

La récurrence des tempêtes calculée à partir des archives est nettement supérieure à celle des événements provenant des données des stations météorologiques. Ce constat veut dire que la période de retour des événements de tempête qui ont réellement eu un impact sur la côte est plus longue que ce que pourrait laisser croire les données de vent des stations météorologiques. Nos résultats sont similaires à ceux de Mather *et al.* (1964) qui ont été les pionniers dans l'utilisation des archives pour analyser les tempêtes qui ont eu un impact sur la côte est des États-Unis. Ils ont estimé que la récurrence des tempêtes ayant eu des impacts variait généralement à un événement à tous les 1,4 à 2,8 ans. Dans le golfe du Saint-Laurent, les données d'archives indiquent un événement à tous les 2,2 à 3,2 ans. Ces résultats concordent aussi avec les mesures de terrain réalisées sur la Côte-Nord du Saint-Laurent qui montrent des reculs importants du littoral selon une fréquence de 2 à 3 ans (Dubois et

Lessard, 1986; Bernatchez *et al.*, 2008). Les analyses statistiques des données de vent provenant des stations météorologiques surestiment le nombre de tempêtes ayant réellement eu un impact sur la côte, même en utilisant le seuil de plus de 74 km/h qui donne des récurrences variant entre 0,36 et 1,08 an, sauf pour la station de Gaspé qui est protégée des vents de tempête (tableau 3.5). Paradoxalement, l'analyse des vents provenant des stations météorologiques maritimes pour les événements de vagues de tempête recensés dans les archives indique qu'entre 15 et 35% des cas, selon la région, qui ont eu un impact sur la côte ont des vitesses de vent inférieures à 60 km/h et donc inférieures à la plupart des seuils utilisés dans la littérature pour désigner une tempête (figure 2.4a). La base de données de trajectoires de tempête et de hauteur des vagues supérieur à 4 m (Savard *et al.*, 2009) indique une meilleure concordance avec les données d'archives puisque 75 à 100 % des événements d'archives y ont été recensés (Bernatchez *et al.*, 2008). À la lumière de ces résultats, il semble plus approprié pour décrire les événements de tempête qui ont eu un impact sur la côte d'utiliser les niveaux d'eau. Ce constat devrait aussi s'appliquer au dimensionnement des infrastructures côtières et des ouvrages de protection qui est souvent basé sur l'analyse statistique des vents. De plus, le nombre de stations météorologiques situées directement sur le littoral est faible, de sorte que les données météorologiques ne représentent pas nécessairement les conditions météorologiques maritimes. L'analyse des événements de tempête de la région de Percé illustre ce fait. La plupart des événements tirés des archives ne sont pas visibles dans les données de la station météorologique de Gaspé située loin de la côte (figure 2.5). Pour Percé, la station météorologique de Cap d'Espoir, située près du littoral, représente mieux les conditions météorologiques maritimes de la région.

La tendance de la fréquence des tempêtes basée sur les données des stations météorologiques indique une diminution pour l'ensemble des stations analysées. Une étude de la fréquence des tempêtes sur la base d'un seuil de vitesse de vent de 90 km/h soufflant durant une heure indique une fréquence de tempête de 6,4 fois par année aux Îles-de-la-Madeleine pour la période de 1933 à 1972 (Owens et McCann, 1980) alors que nos résultats selon un seuil de 74 km/h indique plutôt une fréquence de 2,8 tempêtes/an pour la période de 1978 à 2007, ce qui indique une forte réduction de la fréquence des tempêtes. Ces résultats vont dans le même sens que plusieurs auteurs qui remarquent une diminution du nombre de tempêtes dans les

latitudes moyennes du Nord-Atlantique (Wang *et al.*, 2006 ; Pinto *et al.*, 2007 ; Geng et Sugi, 2003). Les données météorologiques n'indiquent pas non plus de hausse depuis 1993 comme l'ont rapporté d'autres auteurs pour cette région (Zhang *et al.*, 2004). Sur la base uniquement de l'analyse statistique des vents de tempête, on pourrait penser à une diminution de l'intensité de l'érosion associée aux tempêtes. Dans une perspective de gestion des risques côtiers, ces résultats pourraient mener à établir un zonage avec des marges de sécurité moins sévères. Or, les données d'archives indiquent plutôt que la période récente a enregistré un nombre considérable d'événements de tempête qui ont eu un impact important sur le littoral à l'échelle du golfe du Saint-Laurent. Ces résultats sont aussi conformes aux données d'évolution côtière qui indique que la dernière décennie a connu une accélération de l'érosion côtière pour le Québec maritime (Bernatchez et Dubois, 2004 ; Bernatchez *et al.*, 2008). Cependant, on pourrait s'attendre dans le futur à une augmentation de l'activité cyclonique puisque, selon plusieurs études, les tempêtes se déplaceraient vers le nord d'après les modèles de projection ERA-40 et NNR avec MSLP* (Bengtsson *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2009). Certains auteurs, par contre, ne prévoient pas d'augmentation des tempêtes dans l'hémisphère Nord dans un climat futur (Löptien *et al.*, 2008).

Ces résultats ont une signification importante pour les études de l'analyse du niveau de risque puisque ce dernier est basé sur la relation entre la vulnérabilité et les aléas, qui eux sont souvent définis selon leur intensité et leur récurrence basée sur l'analyse statistique des vents de tempête. Plusieurs facteurs peuvent expliquer l'inadéquation entre les données d'archives et les données météorologiques. Premièrement, les ondes de tempêtes qui se déplacent dans l'Atlantique Nord peuvent pénétrer dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, produire de hauts niveaux d'eau comme l'indique les données de hauteur de vague (Savard *et al.*, 2009), et provoquer l'érosion ou la submersion côtière sans qu'il y ait localement de vents violents enregistrés aux stations météorologiques sur la côte. Les archives permettent de prendre en compte ces événements souvent destructeurs. La configuration particulière du système Saint-Laurent peut faire en sorte que les données de vents ne sont pas appropriées pour analyser les

* ERA-40 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Re-Analysis-40 ans); NNR (National Centers for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research Reanalysis), MSLP (Mean Sea Level Pressure).

événements de tempête dans un contexte de gestion des aléas côtiers. L'accroissement du déficit sédimentaire des plages entraîne un abaissement du niveau de la plage et une réduction de sa largeur ce qui provoque une réduction de la capacité des plages à absorber l'énergie des vagues. Ce contexte morphosédimentologique fait en sorte que des dommages à la côte peuvent survenir lors d'événements météorologiques de plus faible intensité. Dans le contexte du réchauffement climatique, la répartition des tempêtes selon la saison est aussi une variable importante à considérer pour les régions côtières avec un couvert de glace. L'analyse des données météorologiques du golfe du Saint-Laurent indique que la fréquence des tempêtes est nettement supérieure lors de la saison froide (figure 3.2), ce qui concorde avec ce qui a été rapporté pour la côte de l'Atlantique Nord (Hirsch *et al.*, 2001; Dolan et Davis, 1992; Valton, 1981). Les données d'archives vont aussi dans le même sens. Plusieurs auteurs s'entendent pour dire que l'hiver est la saison la plus agitée (Carter et Stone 1989 et Trzpit, 1977 ; Schmith *et al.*, 1998 ; Lambert, 1996 ; Wang *et al.*, 2009). La réduction de la couverture de glace côtière depuis 1998 fait en sorte que le littoral n'est plus complètement protégé en hiver (Bernatchez et Dubois, 2004). Ainsi, malgré une diminution de la fréquence et de l'intensité des tempêtes, le littoral est soumis à un plus grand nombre de tempêtes effectives qui peuvent affecter la côte. Il y a d'ailleurs un lien entre les périodes de faible couverture de glace littorale et l'accélération de l'érosion des plages dans le golfe du Saint-Laurent (Bernatchez *et al.*, 2008).

Puisque les événements rapportés dans les archives sont généralement en lien avec les dommages engendrés aux infrastructures, dont la sévérité des dommages dépend des caractéristiques du cadre bâti et des caractéristiques morphosédimentologiques de la côte, elles permettent non seulement de fournir des informations sur la vulnérabilité des collectivités mais aussi sur la réponse des systèmes côtiers aux événements météorologiques. Les archives permettent donc d'obtenir des informations essentielles à l'analyse du risque, ce que ne permet pas une simple analyse statistique des données météorologiques. Les deux approches sont toutefois complémentaires puisque l'analyse de différents paramètres climatiques permet de quantifier et de comprendre la dynamique des phénomènes météorologiques conditionnant l'intensité des tempêtes qui sont susceptibles de provoquer

l'érosion des côtes (Mather *et al.*, 1964). Le croisement de ces approches est toutefois rarement réalisé dans les études des géorisques côtiers.

2.6.2. Pluies diluviennes

Les pluies diluviennes conditionnent de manière significative l'intensité des processus hydrogéologiques dans les falaises qui à leur tour contribuent au déclenchement de divers types d'aléas côtiers, notamment les glissements de terrain, les coulées argileuses et boueuses ainsi que la formation de trous et de ravins de suffosion (Dredge et Thom, 1976, Dredge, 1983; Dubois et Grenier, 1993; Dubois, 1999). De plus, les collectivités côtières vivant à l'embouchure des rivières sont aussi soumises à des inondations lors des crues et des embâcles de glace. Or, les études portant sur les précipitations de pluies sont souvent peu concluantes en raison des nombreux facteurs impliqués dans le régime des précipitations (Zhang *et al.*, 2001; Mayhew, 2004). Les projections des pluies sont dans la plupart des cas basées sur des tendances dont le coefficient de détermination est faible, pourtant important dans la validité des résultats et des tendances. Le processus est complexe. Il exige plusieurs études et beaucoup de temps pour arriver à une conclusion plus précise s'apparentant le plus possible à la réalité. L'utilisation des données d'archives peut donc constituer une alternative intéressante ou, du moins, être complémentaire aux données provenant des stations météorologiques.

La tendance des précipitations totales annuelles est à la hausse au Canada (Zhang *et al.*, 2001), ce qui serait associée à l'augmentation du nombre de jours avec de petites précipitations (neige et pluie) plutôt qu'à une hausse des précipitations extrêmes (Zhang *et al.*, 2001). Il ne semble pas y avoir de tendance significative dans les précipitations extrêmes au Canada durant le dernier siècle (Zhang *et al.*, 2001). Les stations météorologiques de Sept-Îles, de Gaspé et des Îles-de-la-Madeleine indiquent une tendance à la hausse des précipitations totales annuelles, des précipitations annuelles de pluie et des précipitations de pluies hivernales (Jolivet et Bernatchez, 2008). L'occurrence des pluies diluviennes est aussi

à la hausse selon notre analyse, particulièrement pour le secteur de Gaspé et des Îles-de-la-Madeleine.

La récurrence des pluies diluviennes tirée des archives est, respectivement, d'un événement à tous les 4,3 ans pour la région de Sept-Îles et de 2,8 ans pour la région de Percé. Les données météorologiques indiquent une récurrence des pluies diluviennes entre 1,3 et 1,6 selon les saisons, soit le printemps, l'automne et l'été. La récurrence des pluies diluviennes, sans prendre en compte des saisons, est de 0,66 à 1,89 an. Contrairement aux résultats des tempêtes, la plupart (70 à 91 %) des événements de pluies diluviennes recensés dans les archives ont été observés dans les données des stations météorologiques. Dans le contexte de l'analyse des aléas côtiers en lien avec les processus hydrogéologiques, il est approprié d'utiliser des seuils variables selon les saisons pour tenir compte des conditions hydrogéoclimatiques des falaises. Plus de 50 % des événements de pluies diluviennes qui ont eu un impact sur la côte ont été caractérisés par une quantité de pluies de plus de 50 mm/24 h. Cependant, on peut s'interroger sur le seuil hivernal où une quantité de pluies aussi faible que 13 mm a entraîné des glissements de terrain. Comme nous l'indique l'analyse des archives pour les régions côtières avec un couvert de neige, les précipitations devraient être couplées avec les redoux hivernaux puisque dans plusieurs cas, la fonte de la neige constitue l'élément déclencheur de l'aléa et la pluie un facteur aggravant.

La saisonnalité est aussi une variable importante à considérer pour les régions côtières sous climat froid. Le printemps est particulièrement propice aux aléas côtiers impliquant les processus hydrogéologiques en raison de la saturation des sédiments lors de la fonte du couvert nival. Ainsi, les pluies diluviennes nécessitent une quantité moins importante d'eau pour provoquer le déclenchement des aléas en raison de ce contexte. De plus, les pluies diluviennes combinées à la fonte du couvert nival sont particulièrement propices aux inondations associées aux crues des rivières et à la formation d'embâcles. Or, selon les données météorologiques, le printemps est la période où l'on enregistre la proportion du nombre d'événements la plus élevée. Ces résultats sont aussi attestés par les données d'archives qui indiquent que le mois d'avril a été une période favorable aux événements de pluies diluviennes qui ont eu des impacts sur la côte tant par des inondations que par des

mouvements de terrain. De plus, la tendance des pluies diluviennes printanières est à la hausse dans l'est du Canada (Zhang *et al.*, 2001), ce qui pourraient favoriser la fréquence de ce type d'aléa. En plus de cette saison, la période froide où il y a formation de glace de ségrégation à l'intérieur des roches sédimentaires fines qui composent les falaises (octobre à avril), peut aussi être propice à l'érosion côtière, en raison du dégel associé aux précipitations de pluies et aux redoux hivernaux (Bernatchez et Dubois, 2008). Cette période a aussi connu des dommages à la côte associés aux pluies diluviennes selon les archives. Or, la tendance aux précipitations de pluies hivernales est à la hausse dans le golfe du Saint-Laurent en raison du réchauffement climatique (Jolivet et Bernatchez, 2008).

Les données de pluies diluviennes constituent un proxy très intéressant pour les analyses des géorisques côtiers puisque que ce type de précipitation est à la base de plusieurs types d'aléas observés en milieu côtier. Les données d'archives sont essentielles pour comprendre les conséquences des événements météorologiques sur la côte afin de définir des critères de zonage du risque. Même si elles sont assez concordantes avec les données d'archives et qu'elles permettent de quantifier la récurrence et l'intensité des phénomènes météorologiques, les données de pluies diluviennes provenant des stations météorologiques ne permettent pas, à elles seules, d'évaluer la sévérité des dommages qu'elles peuvent provoquer, élément essentiel pour évaluer la vulnérabilité des collectivités côtières.

2.7. Conclusion

Les impacts des événements extrêmes peuvent être connus grâce à une analyse de plusieurs types d'archives. Les journaux et les documents municipaux et gouvernementaux représentent une bonne source d'information sur les impacts et les aléas côtiers qui affectent les communautés. Ce sont surtout les vagues de tempête et les pluies diluviennes qui affectent les côtes du Québec. Ces aléas sont souvent accompagnés de différents phénomènes, comme des hautes marées, des glaces, des forts vents, des glissements de terrain et des inondations. Les événements de tempête sont plus nombreux en hiver et en automne, et les événements de pluie diluvienne se produisent plutôt au printemps et en automne selon la région. La récurrence des tempêtes tirées des archives est supérieure à celle des données météorologiques. Il est de même pour les pluies diluviennes.

La comparaison des archives sur les tempêtes et des données météorologiques des vents a permis d'observer que certains événements extrêmes ayant eu un impact sur la zone côtière avaient des vitesses de vent inférieures à 60 km/h. Les ondes de tempêtes qui peuvent pénétrer dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent font monter le niveau d'eau et provoquent des dommages importants sur la côte, et ce sans qu'il y ait nécessairement des vents locaux extrêmes. L'approche statistique plutôt traditionnelle dans l'étude de zonage des risques côtiers comporte donc des lacunes. L'approche de l'analyse des archives et des conséquences géomorphologiques des événements extrêmes naturels semble être plus adéquate qu'une seule approche statistique des données météorologiques pour mettre en place un zonage des risques naturels côtiers. Aussi, l'utilisation des niveaux d'eau paraît beaucoup plus appropriée pour décrire les événements de tempête ayant eu un impact sur la côte. Pour ce qui est des pluies diluviennes, la saisonnalité est une variable importante à tenir en compte. Lors de la fonte des neiges au printemps, les pluies peuvent déclencher des inondations et des mouvements de masse plus facilement.

L'étude sur les événements extrêmes est très complexe. Ce type d'analyse devient ardu puisque ce sont des événements rares et ponctuels dans le temps. Les différents seuils utilisés

par les nombreux ouvrages rendent ce genre d'étude difficile à effectuer. Les seuils sont, pour la plupart, établis de façon subjective et ne représentent pas bien les événements et leurs impacts potentiels sur les communautés et le milieu naturel. Cette étude a permis de mettre en perspective les impacts de certains événements qui ne sont pas nécessairement considérés comme étant extrêmes selon les seuils.

Puisque les événements tirés des archives ne sont pas très nombreux, il est nécessaire de continuer l'analyse des trajectoires de tempêtes et des archives pour arriver à des conclusions plus précises et en connaître davantage sur les impacts des événements. L'installation de stations météorologiques directement à la côte peut servir à mieux connaître les conditions atmosphériques lors des événements qui affectent le littoral.

2.8. Remerciements

Ce projet a pu avoir lieu grâce au financement soutenu par le Fond d'Action pour le Changement Climatique, le consortium Ouranos et le gouvernement du Québec. Nous tenons à remercier la Ville de Sept-Îles et la municipalité des Îles-de-la-Madeleine pour avoir mis à disposition leurs archives. Nous remercions également Mme Katy Brown, cartothécaire de l'Université du Québec à Rimouski, pour son aide dans la recherche des événements extrêmes à partir des journaux.

2.9. Références

Allan, J. C. et Komar, P. D., 2006. Climate controls on US west coast erosion processes. *Journal of Coastal Research*, 22; 3; 511-529.

Arlot, J-E., Rocher, P., Frède, V. et Balança, C., 2001. Astrophysique sur mesure. Instituts Universitaires de Formation des Maîtres, Paris. Site Internet consulté le 2 mars 2006 : http://media4.obspm.fr/public/IUFM/chapitre2/souschapitre1/section2/page3/section2_1_2_3.html.

Bengtsson, L., Hodges, K. I. et Roeckner, E., 2006. Storm tracks and climate change. *Journal of climate*, 19; 3518-3543.

Bernatchez, P., 2003. Évolution littorale holocène et actuelle des complexes deltaïques de Betsiamites et de Manicouagan-Outardes : synthèse, processus, causes et perspectives. Thèse de doctorat, Université Laval, 460 p.

Bernatchez, P. et Dubois, J.-M.M, 2004. Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, 2004, 58 ; 1 ; 45-71.

Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. et Morissette, A., 2008. Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC, 256 p.

Bosserman, K. et Dolan, R., 1968. The frequency and magnitude of extratropical storms along the outer banks of North Carolina, National Park Service Tech. 68-4, Contract 14-1013101577, Charlottesville, Virginia, 58 p.

Carter, R. W. G. et Stone, G. W., 1989. Mechanisms associated with erosion of sand dune cliffs, Magilligan, Northern Ireland. *Earth surface processes and landforms*, 14; 1-10.

Colantoni, P., Mencucci, D. et Nesci, O., 2004. Coastal processes and cliff recession between Gabicce and Pesaro (northern Adriatic Sea): a case history. *Geomorphology*, 62; 257-268.

Cooper, J. A. G., Jackson, D. W. T., Navas, F., McKenna, J., et Malvarez, G., 2004. Identifying storm impacts on an embayed, high-energy coastline: examples from western Ireland. *Marine Geology*, 210; 261-280.

Dawson, A., Elliott L., Noone, S., Hickey, K., Holt, T., Wadhams, P. et Foster, I., 2004. Historical storminess and climate 'see-saws' in the North Atlantic region. *Marine Geology*, 210; 247– 259.

Dolan, R. et Davis, R. E., 1992. An Intensity Scale for Atlantic Coast Northeast Storms. *Journal of Coastal Research*, 8; 4; 840-853.

Dredge, L. A., 1983. Surficial geology of the Sept-Îles area, Quebec North Shore. Geological Survey of Canada, Ottawa, Mémoire 408, 40 p.

Dredge, L. A. et Thom, B. G., 1976. Development of a gully-flow near Sept-Îles, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 13; 1145-1151.

Dubois, J.-M.M. et Grenier, A., 1993. The Magdalen Islands, Gulf of Saint Lawrence. Coastlines of Canada, 8th *Symposium on Coastal and Ocean Management*, July 19-23, 1993, 170-182.

Dubois, J.-M.M. et Lessard, G. L., 1986. Erosion rates and causes, Northern Gulf of St-Lawrence, Québec, Canada. *Thalassas*, 4; 1; 63-70.

Environnement Canada, 2002. Canada atlantique : Sensibilisation au temps violent d'été. http://www.atl.ec.gc.ca/weather/severe/reportit_f.html

Forbes, D. L., Parkes, G. S., Manson, G. K. et Ketch, L. A., 2004. Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence. *Marine Geology*, 210; 169-204.

Gagnon, M., Bergeron, P., Leblanc, J. et Siron, R., 1997. Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du golfe du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs. Ministère des Pêches et des Océans - Région Laurentienne, Division des sciences de l'environnement marin, Institut Maurice-Lamontagne. Rapport technique. Zones d'intervention prioritaire 19, 20 et 21. 189 p.

Geng, Q. et Sugi, M., 2003. Possible change of extratropical cyclone activity due to enhanced greenhouse gases and sulfate aerosols-study with a high resolution AGCM. *Journal of climate*, 16; 2262-2274.

Grenier, A., 1993. Évolution littorale récente et impact des structures artificielles aux Îles de la Madeleine, golfe du Saint-Laurent, Québec. Mémoire de maîtrise, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, 275 p.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2001. Bilan 2001 des changements climatiques: Les éléments scientifiques. Cambridge University Press, Cambridge, 881 p.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2007. Climate change 2007 : The physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge, 996 p.

Halsey, S. D., 1986. Proposed classification scale for major Northeast storms: East Coast USA, based on extent of damage. *Geological Society of America, Abstracts with Programs* (Northeastern Section), 18; 21.

Hale, P. B. et Greenwood, B., 1980. Storm wave climatology: A study of the magnitude and frequency of geometric process; in *The Coastline of Canada*. S.B. McCann, editor: Geological Survey of Canada, Paper 80-10; 73-88.

Hayden, B. P. et Dolan, P., 1977. Seasonal changes in the planetary wind system and their relationship to the most severe coastal storms. *Geoscience and Man*, 18;113-119.

Hirsch, M.E., DeGaetano, A. T. and Colucci, S. J., 2001. An east coast winter storm climatology. *Journal of Climate* 14, pp. 882–899.

Hénaff, A., Lageat Y., Costa, S. et Plessis, E. 2002. Le recul des falaises crayeuses du Pays de Caux: détermination des processus d'érosion et quantification des rythmes d'évolution. *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement*, 2; 107–118.

Jiang, J. et Perrie, W., 2007. The impacts of climate change on autumn North Atlantic midlatitudes cyclones. *Journal of climate*, 20; 1174-1187.

Jolivet, Y. et Bernatchez, P., 2008. Analyse du climat maritime historique des régions côtières de Sept-Îles, de Percé et des Îles-de-la-Madeleine. In Bernatchez *et al.*, 2008. Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC, 256 p.

Karl, T. R., Knight, R. W., Easterling, D. R. et Quayle, R. G., 1996. Indices of climate change for the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77; 279–292.

Keim, B. D, Muller, R. A. et Stone, G. W., 2004. Spatial and temporal variability of coastal storms in the North Atlantic Basin. *Marine Geology*, 210, 7-15.

- Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X. et Hegerl, G. C., 2007. Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations. *Journal of Climate*, 20; 1419-1444.
- Kunkel, K. et Andsager K., 1999. Long-Term Trends in Extreme Precipitation Events over the Conterminous United States and Canada. *American Meteorology Society*, 12; 2515-2527.
- Lacroix, J. et Boivin, D. J., 1991. Étude du phénomène de pluies diluviennes en tant que catastrophe naturelle; une évaluation en matière de protection civile et de vulnérabilité municipale. *Centre de Recherches en Aménagement et en Développement*, Université Laval, 13; 2; 89 p.
- Lambert, S. J., 1996. Intense extratropical Northern Hemisphere winter cyclone events: 1899–1991. *Journal of Geophysical Research*. 101(D16); 21319–21326.
- Lemmen, D. S., Warren, F.J., Lacroix, J. et Bush, E. (éditeurs), 2008. Vivre avec les changements climatiques au Canada: édition 2007, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 448 p.
- Lessard, G. L. et Dubois, J.-M.M., 1984. Évolution littorale multitemporelle d'une côte récemment déglacée du nord du golfe du Saint-Laurent. *Revue de géomorphologie dynamique*, 33, pp. 81-96.
- Lewis, P. J. et Morgan, M. D., 1984. Severe storms off Canada's East Coast : a catalogue summary for the period 1957 to 1983. Report no. 84-13, Canadian Climate Centre, Atmospheric Environment Service, Canadian Climate Program, 322 p.
- Löptien, U., Zolina, O., Gulev, S., *et al.*, 2008: Cyclone life cycle characteristics over the Northern Hemisphere in coupled GCMs, *Climate Dyn.*, **31**, 507–532.
- Lozano, I., Devoy, R. J. N., May, W. et Anderson, U., 2004. Storminess and vulnerability along the Atlantic coastlines of Europe: Analysis of storm records and of a greenhouse gases induced climate scenario. *Marine Geology*, 210; 205-225.
- MacClenahan, P., Mackenna, J., Cooper, J. A. G. et O'kane, B., 2001. Identification of highest magnitude coastal storm events over western Ireland on the basis of wind speed and duration thresholds. *International Journal of climatology*, 21; 829-842.
- Mather, J. R., Adams, H. et Yoshioka, G. A., 1964. Coastal storms of eastern United States. *Journal of applied meteorology*, 3; 693-706.

Mayhew, S., 2004. A dictionary of geography. Oxford dictionary of geography 3rd ed., Oxford University Press, 543 p.

Mesquita, M. D. S., Kvamstø, N. G., Sorteberg, A. et Atkinson, D. E., 2008. Climatological Properties of Summertime Extra-Tropical Storm Tracks in the Northern Hemisphere. *Tellus*, 60A; 557-569.

Mather, J. R., Adams, H. et Yoshioka, G. A., 1964. Coastal storms of eastern United States. *Journal of applied meteorology*, 3; 693-706.

Morneau, F., Michaud, M., Lecours, F., Côté, L. et Roy, D., 2001. Étude d'impact sur l'environnement: projets de protection des berges le long de la route 132 autour de la péninsule gaspésienne, Ministère des Transports du Québec, 84 p. et annexes.

Muller, R. A. et Stone, G. W., 2001. A climatology of tropical storm and hurricane strikes to enhance vulnerability prediction for the southeast US coast. *Journal of Coastal Research*, 17; 949-956.

Owens, E. H. et McCann, S. B., 1980. The coastal geomorphology of the Magdalen Islands, Québec: in *The Coastline of Canada*. S.B. McCann, editor: Geological Survey of Canada, Paper 80-10; 51-72.

Paskoff, R., 2001. Le changement climatique et les espaces côtiers, l'élévation du niveau de la mer : risques et réponses. Actes du colloque d'Arles, La documentation française, Paris, 97 p.

Pepper, D. A. et Stone, G. W., 2004. Hydrodynamic and sedimentary responses to two contrasting winter storms on the inner shelf of the northern Gulf of Mexico, USA. *Marine Geology*, 210; 43-62.

Pinto, J. G., Ulbrich, U., Leckebusch, G. C., Spanghel T., Meyers M., et Zacharias, S., 2007. Changes in storm track and cyclone activity in three SRES ensemble experiments with the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. *Climate dynamics*. 29; 2/3; 195-210.

Ranasinghe, R., McLoughlin R., Short, A. et Symonds, G., 2004. The Southern Oscillation Index, wave climate, and beach rotation. *Marine Geology*, 204; 273-287.

Regnaud, H., Pirazzoli, P.A., Morvan, G. et Ruz, M-H., 2004. Impacts of storms and evolution of the coastline in western France. *Marine Geology*; 210; 325-337.

Saffir, H. S., 1977. Design and construction requirements for hurricane resistant construction. *American Society of Civil Engineers*, Preprint Number 2830, 20 p.

Savard, J.-P., Rosu, C., Gachon, P., Pacher, G. et Carrera, M., 2008. Étude des tempêtes dans le golfe du Saint-Laurent; rapport sectoriel. *Dans : Étude de la vulnérabilité des communautés côtières de l'Est du Québec aux changements climatiques*. Ouranos, en prép.

Savard, JP., Bernatchez P., Morneau F. et Saucier F., 2009. Vulnérabilité des communautés côtières de l'est du Québec aux impacts des changements climatiques. *La Houille blanche*, 2 :sous presse.

Schinke, H., 1993. On the Occurrence of Deep Cyclones over Europe and the North Atlantic in the Period 1930–1991, *Beitr. Phys. Atmosph.*, 66; 223–237.

Schmith, T., Kaas, E. et Li, T-S., 1998. Northeast atlantic winter storminess 1875-1995 re-analysed. *Climate dynamics*, 14; 529-536.

Shaw, J., Taylor, R. B., Forbes, D. L., Ruz, M-H. et Solomon, S., 1998. Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise. Geological Survey of Canada, Bulletin 505, 79 p.

Simpson, R. H., 1971. A proposed scale for ranking hurricanes by intensity. *Minutes of Eighth NOAA, NWS Hurricane Conference*, Miami, Florida.

Stone, G. W., Baozhu, L., Pepper, D. A. et Wang, P., 2004. The importance of extratropical and tropical cyclones on the short-term evolution of barrier islands along the northern Gulf of Mexico, USA. *Marine Geology*, 210; 63-78.

Stone, G. W., Grymes, J. ,M., Dingler, J. ,R. et Pepper, D., A., 1997. Overview and significance of hurricanes on the Louisiana coast USA. *Journal of Coastal Research*, 13; 3; 656– 669.

Therrien, F., Gamache D., Messier D., Massicotte B. et Vézina C., 2001. Aménagement hydroélectrique Sainte-Marguerite-3. Suivi environnemental 2000. Caractéristiques physiques et chimiques de l'estuaire durant le remplissage du réservoir Sainte-Marguerite-3. Hydro-Québec, Montréal, 154 p.

Trzpit, J.P., 1977: Les tempêtes nord-atlantiques: essai d'analyse géographique. *Noroi*,XXIV ; 33-52.

Valton, A. M., 1981. Essai d'analyse des tempêtes, décennie 1960-1969. Rapport de B.Sc., Département de Géographie, Université de Sherbrooke, 95 p.

Wang, X. L., Swail, V. R. et Zwiers, F. W., 2006, Climatology and changes of extratropical cyclone activity : Comparison of ERA-40 with NCEP-NCAR reanalysis for 1958-2001. *Journal of climate*, 19; 3145-3166.

Wang, X. L., Swail, V. R., Zwiers, F. W., Zhang X. et Feng Y., 2009. Detection of external influence on trends of atmospheric storminess and northern oceans wave heights. *Climate Dynamics*, 32 ; 189-203.

Xu, Z., Saucier, F. J. et Lefaiivre D., 2006. Water level variations in estuary and gulf of St-Lawrence. Abstract of Understanding Sea-level rise and variability workshop, June 6-9, Paris, France.

Zhang, X, Hogg, W. D. et Mekis, E' VA., 2001. Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Precipitation Events over Canada. *Journal of climate*, 14; 1923-1936.

Zhang, X., Walsh, J., Bhatt, U. et Ikeda, M., 2004. Climatology and interannual variability of arctic cyclone activity: 1948–2002. *Journal of Climate*, 17; 2300–2317.

CHAPITRE III

Perceptions des communautés côtières du golfe du Saint-Laurent face aux changements environnementaux : aléas et adaptations, Québec, Canada.

FRIESINGER S.¹, BERNATCHEZ P.²,

¹ Module de géographie, Université du Québec à Rimouski, Québec, Canada

² Module de géographie, Centre d'études nordiques, Université du Québec à Rimouski, Québec, Canada

Abstract

Coastal erosion is becoming generalized on the Quebec (Eastern Canada) shorelines and some areas have witnessed its acceleration for more than a decade. This phenomenon threatens roads and railway networks, residential and commercial areas, economic activities and increases the costs of maintenance for infrastructures. This research, which is part of a study on the effects of erosion and climate change on coastal communities and shorelines, surveys 230 residents in order to evaluate their perceptions and knowledge on coastal hazards and mitigation measures. The integration of scientific data into the analysis ensures a proper evaluation of their perceptions. Our results indicate that there is a significant correlation between the residents' perceptions of coastal erosion's causes and the scientific data. Furthermore, a majority of respondents have observed an important decrease of the ice cover as well as an overall rise of winter temperatures, which are two important changes that we are currently facing. Respondents generally do not, however, notice the significant environmental changes that have an impact on coastal hazards such as the reduction of beaches and a rise of sea levels. For residents, these long-term environmental changes are difficult to perceive. Moreover, a majority of respondents prefer "hard" coastal protection implant even if those measures are not appropriate for some coastal environments. Respondents' perceptions are also largely dependent on their immediate environment. In that sense, there is still important work to be done on raising public awareness about coastal hazards and mitigation measures.

Key-words: Communities' perceptions, coastal hazards, adaptation, resilience, environmental change.

3.1. Introduction

Depuis une décennie, le littoral du Québec maritime connaît une érosion de plus en plus généralisée, qui s'accélère dans certains secteurs du Saint-Laurent (Bernatchez et Dubois, 2004). Les modifications des conditions environnementales causées par le réchauffement climatique et les perturbations anthropiques sont en bonne partie responsables de l'accroissement de l'érosion côtière (Bernatchez *et al.*, 2008a). Certains de ces changements environnementaux, tels le déficit sédimentaire des plages, la diminution de la couverture de glace et la hausse du niveau marin relatif augmentent la sensibilité des littoraux aux aléas côtiers. De plus, la concentration importante de la population le long des littoraux du Québec suscite des questions quant à sa vulnérabilité et celle des infrastructures. En raison des changements climatiques, des efforts de recherche ont été consacrés récemment pour évaluer la vulnérabilité des collectivités dans différentes régions du monde (Adger, 2006; Füssel, 2007; Acosta-Michlik *et al.*, 2008). La capacité d'adaptation de ces communautés est variable géographiquement et dépend de différents facteurs sociaux, culturels, économiques et politiques (Smit and Wandel, 2006; Cutter *et al.*, 2008). Comme ces communautés sont les premières à être affectées par ces aléas et la mise en oeuvre des solutions d'adaptation, il est primordial d'intégrer leurs connaissances et leur perception afin d'augmenter leur capacité d'adaptation. Il a été démontré qu'un écart entre les données géoscientifiques et la perception des individus concernant les changements environnementaux peut réduire la résilience de ces derniers (Alessa *et al.*, 2008), allant même jusqu'à faire en sorte qu'aucune stratégie d'adaptation ne soit déployée. La quantification de la résilience des collectivités aux risques naturels demeure toutefois encore un défi (Cutter *et al.*, 2008). En milieu côtier, le niveau de résilience aux aléas naturels d'un résident ou d'une collectivité peut être évaluée en examinant l'efficacité des mesures d'adaptation mises en place par rapport au type de système côtier et à sa dynamique. Certaines méthodes non adaptées au type de côte peuvent favoriser l'érosion du système côtier, réduire la résilience du système côtier et amplifier le risque côtier (French, 2004). Le besoin de s'adapter ou non aux aléas dépend des perceptions des gens face au risque et aux processus qui le conditionnent (French, 2004; Myatt *et al.*, 2003b).

Or, la perception des résidents est rarement prise en considération dans l'analyse des risques côtiers et leur adaptation à ceux-ci, à l'exception de quelques études (Bird et Dominey-Howes, 2008; Roca et Villares, 2008; Meur-Férec, 2006; Myatt *et al.*, 2003a; Myatt *et al.*, 2003b). Les études qui portent sur la perception des communautés l'expliquent généralement par des facteurs socio-économiques et démographiques (Peterlin *et al.*, 2005; O'Connor et al., 1999; Jones et Dunlap, 1992; Van Liere et Dunlap, 1981). Le couplage entre les perceptions et le contexte environnemental dans lequel les populations vivent n'est guère réalisé pour évaluer et comprendre la nature de ces perceptions. Pourtant, certains auteurs montrent que les facteurs géographiques influencent la perception des résidents (Bird et Dominey-Howes, 2008; Brody *et al.*, 2004; Dominey-Howes et Minos-Minopoulos, 2004) et qu'ils peuvent être déterminants par rapport à leur niveau de connaissances des risques côtiers (Carvalho et Coelho, 1998).

Dans le cadre d'un projet sur la sensibilité des côtes et la vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques (Savard *et al.*, 2009; Bernatchez *et al.*, 2008a), nous suggérons une approche pour évaluer la résilience des résidents aux aléas côtiers basée sur une analyse spatiale de leurs perceptions et des caractéristiques environnementales de leur milieu de vie. Cette étude vise: 1) à analyser la perception de différentes communautés côtières à l'égard des géorisques côtiers et des changements environnementaux 2) à comparer les résultats de cette enquête avec les données géoscientifiques pour en évaluer la concordance; 3) à déterminer si les mesures d'adaptation aux aléas côtiers mises en place par les résidents et les gouvernements, et celles envisagées pour le futur, sont appropriées selon le type et la dynamique du système côtier.

3.2. Localisation des sites d'étude

Les cinq sites d'étude sont situés dans le golfe du Saint-Laurent dans l'est du Canada, et correspondent plus spécifiquement aux régions de Percé et de la baie des Chaleurs en Gaspésie, aux îles de la Madeleine ainsi qu'aux régions de Sept-Îles et de la Minganie sur la Côte-Nord (figure 3.1).

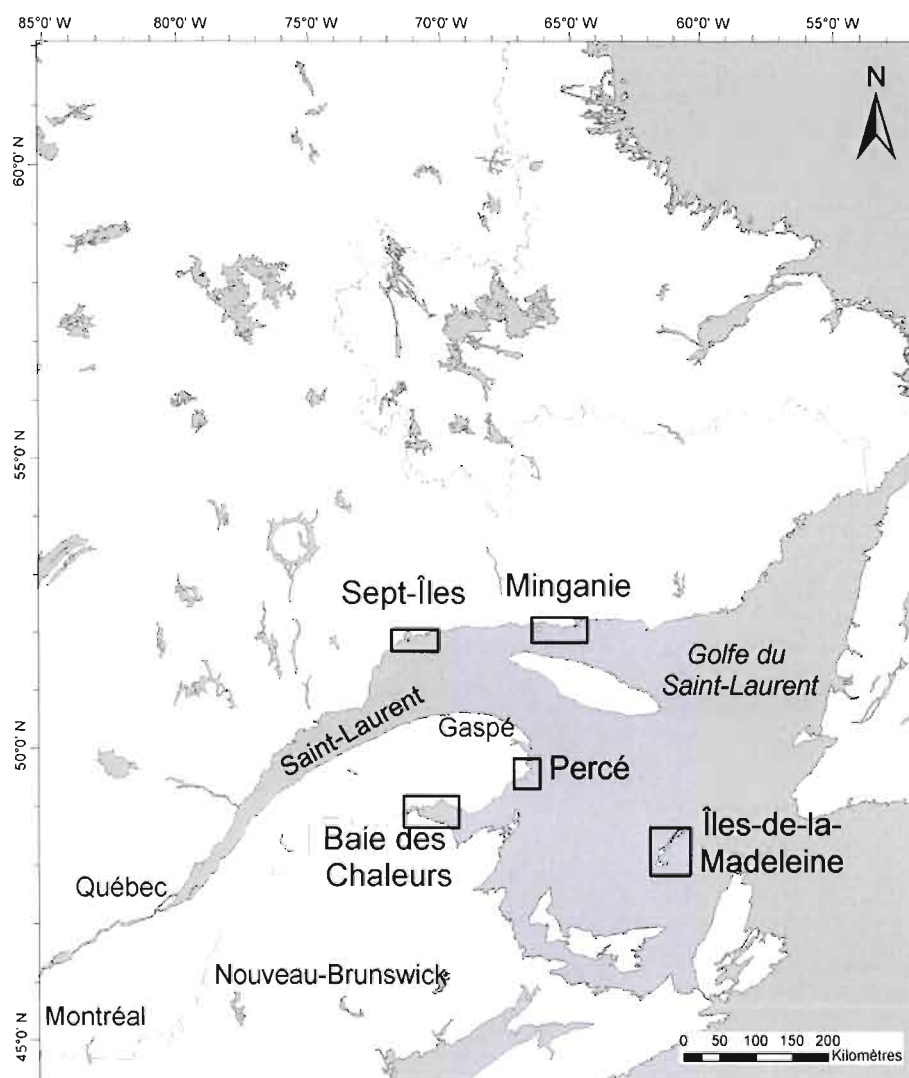


Figure 3.1. Localisation des régions d'étude.

3.3. Méthodologie

Un questionnaire a été élaboré pour des entrevues semi-dirigées avec des résidents des communautés côtières. Le mode de sélection des résidents a été systématique, c'est-à-dire que chaque maison située en bordure du littoral a été visitée. Certains d'entre eux ont accepté de répondre au questionnaire, alors que d'autres ont refusé. Au total, 232 questionnaires furent complétés dans les régions d'étude lors de campagnes de terrain réalisées en 2005 et 2006 (tableau 4.1). Les différents thèmes portaient sur l'érosion et ses causes ainsi que sur les changements environnementaux pouvant favoriser la fréquence ou l'intensité des aléas côtiers (tableau 4.2). Les répondants, tous propriétaires, étaient aussi questionnés sur les différentes actions qu'ils privilégient pour se protéger ou s'adapter au phénomène d'érosion et sur les différents acteurs qui devraient être responsables des coûts pour réaliser les interventions (tableau 4.2). Puisque la localisation des résidences a été géoréférencée sur le terrain à l'aide d'un GPS, une base de données à référence spatiale des perceptions a pu être développée dans le système d'information géographique (SIG) MapInfo 7.5. Une segmentation et une caractérisation côtière a été réalisée sur le terrain afin d'identifier les aléas et les processus qui affectent les systèmes côtiers ainsi que les types de défenses côtières et leur efficacité à protéger les communautés contre les aléas. Ces informations ont été intégrées dans le SIG afin de comparer les résultats des perceptions avec les données géoscientifiques et de mieux comprendre la perception des résidents face aux aléas côtiers et aux changements environnementaux.

Tableau 3.1. Nombre de questionnaires par région.

Région	Nombre de questionnaires
Percé	30
Baie des Chaleurs	59
Îles-de-la-Madeleine	34
Sept-Îles	68
Minganie	41
Total	232

Tableau 3.2. Questions posées aux répondants*

<p>L'érosion des berges vous affecte-t-il?</p> <p>Avez-vous perdu du terrain?</p> <p>Avez-vous gagné du terrain?</p> <p>À quelle (s) période (s) de l'année cela se produit-il?</p> <p>Constatez-vous une accélération du phénomène d'érosion ?</p> <p>Avez-vous remarqué des changements concernant les items suivants? Plage, Ligne des hautes marées, Couverture de glace</p> <p>Avez-vous remarqué des changements dans la longueur de la saison des glaces?</p> <p>Selon vous quelle est la cause de l'érosion? Être humain, Naturelle</p> <p>Quelle (s) cause (s) favorise (ent) l'érosion? Vague de tempête, Hausse du niveau marin, Glace, Modification par les humains, Forte pluie, Eau souterraine, Rivière et ruisseau, Vent, Gel-dégel, Réchauffement climatique.</p> <p>Dans cette liste, quelle (s) modification (s) faite (s) par les humains favorise (ent) l'érosion? Quai, Rampe de mise à l'eau, Marina, Mur, Enrochement, Épis, Prélèvement de sable, Restauration de dunes, Réseau routier, Réseau ferroviaire, Barrage hydroélectrique, Construction de bâtiment, VTT, Industries, Remblai et déblai, Nettoyage des berges, Piétinement, Aménagement de promenade, Camping, Bateau de pêche, Transport maritime.</p> <p>Dans cette liste quelle (s) action (s) avez-vous entreprises pour protéger vos biens contre l'érosion? Prendre une assurance, Faire des demandes de dédommagement, Remplacement des biens, Déplacement de la résidence, Relocalisation, Enrochements, Digues, Épis, Recharge en sable, Restaurations des dunes, Muret, Restaurations des berges (plantation de végétaux).</p>	<p>Est-ce que les actions ont été efficaces?</p> <p>Est-ce que vous referiez les mêmes actions?</p> <p>Dans le futur, quelle (s) mesure (s) privilégieriez vous? Prendre une assurance, Faire des demandes de dédommagement, Remplacement des biens, Déplacement de la résidence, Relocalisation, Enrochements, Digues, Épis, Recharge en sable, Restaurations des dunes, Muret, Restaurations des berges (plantation de végétaux), Meilleur zonage, Normalisation des milieux côtiers (loi, règles), Interdiction de reconstruire, Interdiction de restaurer, Ne rien faire (résignation), Interdiction de construire.</p> <p>Selon vous, qui devrait être responsable des coûts pour réaliser les interventions? Propriétaire, Groupes d'utilisateur (ex : Kayak, canot, pêche), Gouvernement fédéral, Gouvernement provincial, CRÉ (conférence régionale des élus), MRC (municipalité régionale de comté), Municipalités, Industries, Commerces, Partage des coûts.</p> <p>Dans la liste suivante, quels événements extrêmes ont perturbé la côte? Tempêtes, Pluies diluviennes, Redoux hivernaux, Inondations, Glissement de terrain, Séisme (tremblement de terre).</p> <p>Selon vous, y a-t-il des changements dans la fréquence de ces événements extrêmes? Tempêtes, Pluies diluviennes, Redoux hivernaux, Inondations, Glissement de terrain, Séisme (tremblement de terre).</p> <p>Selon vous, quelle est la cause des changements climatiques? Être humain, Naturelle</p> <p>Selon vous, existe-t-il un lien entre l'érosion des berges et les changements climatiques?</p>
---	--

* Pour la région de la Minganie, la question «quelles causes favorisent l'érosion» n'a pas pu être intégrée dans l'analyse puisque la question était formulée différemment.

3.4. Caractéristiques géomorphologiques du milieu de vie des répondants

La segmentation et la caractérisation côtière ont permis d'identifier pour chaque répondant les processus et les aléas côtiers pouvant affecter l'évolution de son milieu de vie (tableau 3.3). Une analyse historique des événements météorologiques extrêmes et ceux ayant provoqué des dommages sur la côte dans le golfe du Saint-Laurent a permis de préciser la fréquence et l'intensité des aléas côtiers (Friesinger, 2009). Le niveau de vulnérabilité des communautés côtières aux aléas est fortement dépendant du type de système côtier sur lequel elles se sont établies. Selon la proportion de répondants par type de côte, il se dégage deux groupes distincts, soit Percé et les Îles-de-la-Madeleine où il y a une dominance de répondants vivant en bordure d'une falaise rocheuse, et Sept-Îles et la Minganie où il y a une dominance de répondants vivant en bordure d'une terrasse de plage. Quant à la région de la baie des Chaleurs, la proportion de répondants est répartie de manière assez uniforme entre les falaises composées de formations meubles et les terrasses de plage. Les répondants ayant une résidence en bordure d'une côte de faible dénivelé sont davantage affectés par les processus hydrodynamiques, alors que ceux vivants en bordure des falaises sont aussi affectés par les processus hydrogéologiques, gravitaires et de météorisation (tableau 3.3).

Tableau 3.3. Caractéristiques géomorphologiques du milieu de vie des répondants.

Région (municipalités)	Type de côte (%)	Aléas et processus d'érosion	Proportion de répondants par type de côte (%)
Percé (Cap d'Espoir, Anse-à-Beaufils, Percé, Barachois)	Falaise rocheuse (48)	Gélifraction, effondrement, éboulement/éboulis, écroulement, suffosion, glissement de terrain, sapement par les vagues	53
	Terrasse de plage (4)	Sapement par les vagues, submersion	20
	Terrasse de plage artificialisée (2)	Submersion	3
	Flèche littorale artificialisée (18)	Sapement par les vagues, submersion	10
	Marais maritime (28)	Action de la glace littorale, sapement par les vagues, submersion	14
Baie des Chaleurs (Nouvelle, Carleton-sur-Mer, Maria, New-Richmond)	Falaise meuble (31)	Glissement de terrain, ruissellement concentré, suffosion, sapement par les vagues, processus cryogéniques, coulée de sable sec	14
	Falaise meuble artificialisée (6)	Glissement de terrain, ruissellement concentré, suffosion, processus cryogéniques, coulée de sable sec	22
	Terrasse de plage (22)	Sapement par les vagues, submersion, éolien, action de la glace	14
	Terrasse de plage artificialisée (16)	Sapement par les vagues, submersion	20
	Marais maritime (25)	Action de la glace littorale, sapement par les vagues, submersion	4
	Marais maritime artificialisé (5)	Action de la glace littorale, sapement par les vagues, submersion	22
	Flèche littorale artificialisée (2)	Sapement par les vagues, submersion, éolien	4

Tableau 3.3 (suite). Caractéristiques géomorphologiques du milieu de vie des répondants.

Région (municipalités)	Type de côte	Aléas et processus d'érosion	Proportion de répondants par type de côte (%)
Îles-de-la-Madeleine (Pointe-aux-Loups, Cap-aux-Meules, Havre-Aubert)	Falaise rocheuse (67)	Sapement par les vagues, gélifraction, suffosion, glissement de terrain, effondrement, écoulement, éboulement/éboulis	61
	Falaise rocheuse artificialisée (3)	Sapement par les vagues, gélifraction, suffosion, glissement de terrain, effondrement, éboulement/éboulis	18
	Terrasse de plage (24)	Sapement par les vagues, submersion	15
	Terrasse de plage artificialisée (6%)	Sapement par les vagues, submersion	6
Sept-Îles (Gallix, Val-Marguerite, Sept-Îles, Moisie)	Terrasse de plage (53)	Sapement par les vagues, submersion	62
	Terrasse de plage artificialisée (13)	Sapement par les vagues, submersion	21
	Falaise meuble (7)	Sapement par les vagues	6
	Falaise meuble artificialisée (2)	Sapement par les vagues	4
	Flèche littorale (5)	Sapement par les vagues, submersion	3
	Marais maritime (19)	Sapement par les vagues, submersion, action de la glace littorale	3
	Marais maritime artificialisé (<1)	Sapement par les vagues, submersion, action de la glace littorale	1
Minganie (Rivière-Saint-Jean, Longue-Pointe-de-Mingan, Mingan)	Falaise meuble (27)	Suffosion, glissement de terrain, sapement par les vagues	22
	Falaise meuble artificialisée (1)	Suffosion, glissement de terrain, sapement par les vagues	8
	Terrasse de plage (63)	Sapement par les vagues, submersion, sapement par les vagues	43
	Terrasse de plage artificialisée (5)	Sapement par les vagues, submersion, sapement par les vagues	22
	Flèche littorale artificialisée (4)	Sapement par les vagues, submersion, sapement par les vagues	5

3.5. Analyse de la perception des résidents

3.5.1. Âge et nombre d'années de résidence

Le tableau 3.4 montre la moyenne d'âge des répondants pour chacune des régions ainsi que le nombre moyen d'années de résidence. L'âge moyen des répondants se concentre généralement entre 50 et 60 ans. Le nombre d'années de résidence en bordure du littoral est variable, allant d'une moyenne de 18 ans pour Sept-Îles à 31 ans pour Percé.

Tableau 3.4. L'âge des répondants et le nombre d'années de résidence.

Région	Moyenne d'âge (années)	Nombre d'années de résidence
Percé	59	31
Baie des Chaleurs	52	19
Îles-de-la-Madeleine	54	23
Sept-Îles	56	18
Minganie	53	28
Moyenne	55	24

3.5.2. Résultats de l'enquête

a) Observations générales sur l'érosion côtière

Dans la région de Percé, l'enquête montre que 50 % des répondants sont affectés par l'érosion côtière (figure 3.2). Les répondants remarquent que l'érosion survient surtout au printemps (47 %) et observent une accélération du phénomène d'érosion. Beaucoup de répondants (61 %) sont affectés par l'érosion côtière dans le secteur de la baie des Chaleurs et 36 % observent une perte de terrain. Pour une majorité d'entre eux (58 %), l'érosion côtière se produit en automne. Une accélération du phénomène est constatée par 44 % des répondants. La figure 2 illustre bien que la majorité des répondants des îles de la Madeleine sont affectés par l'érosion (74 %), qu'ils perdent du terrain (68 % des répondants) et que l'érosion survient, selon 68 % des répondants, surtout à l'automne. Pour ce qui est de la région de Sept-Îles, le nombre de répondants affectés par l'érosion est beaucoup plus faible

(26 %) et 24 % subissent une perte de terrain. L'érosion survient, selon eux, surtout durant l'automne (43 %) et peu de répondants observent une accélération (30 %) (figure 3.2). Pour la région de la Minganie, 39 % des répondants se disent affectés par l'érosion côtière. Cependant, il n'y a que 12 % des répondants qui perdent du terrain et ils en perdent surtout l'automne. Pour la grande majorité des répondants de ce secteur, le phénomène d'érosion ne connaît pas d'accélération. Selon eux, le phénomène d'érosion existe depuis toujours et n'a pas changé en intensité.

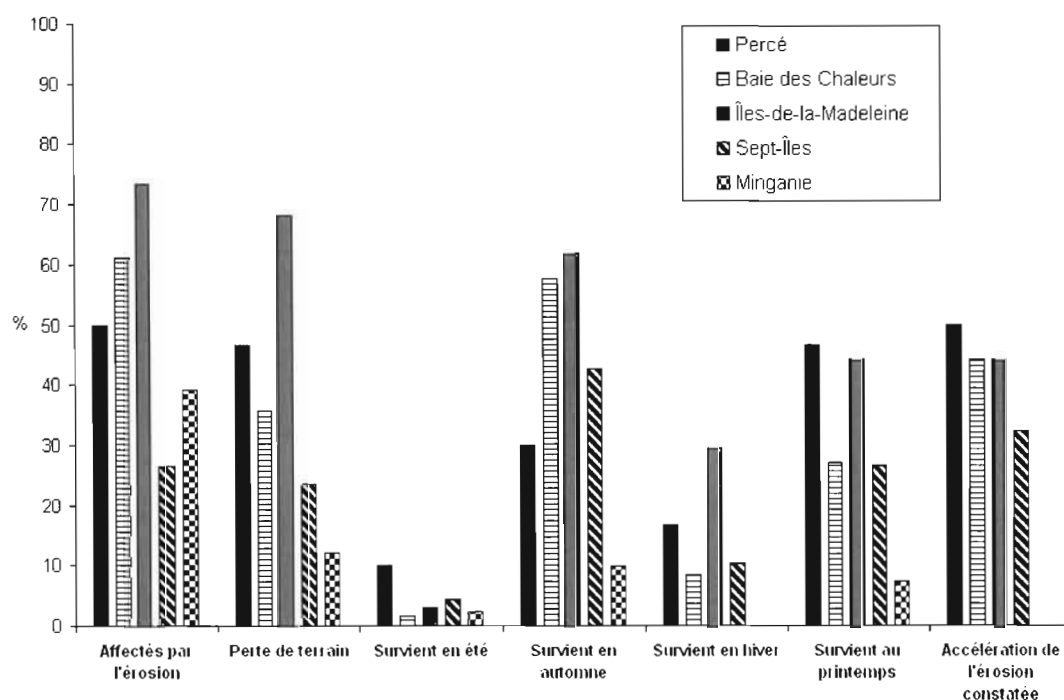


Figure 3.2. Observations générales des répondants sur l'érosion côtière.

b) Causes de l'érosion côtière

Pour les régions de Percé, de la baie des Chaleurs, de Sept-Îles et des Îles-de-la-Madeleine, la cause principale de l'érosion demeure les vagues de tempête (figure 3.3). Viennent ensuite, pour Percé et les Îles-de-la-Madeleine, la hausse du niveau marin relatif et l'action du gel-

dégel. Plus de la moitié des répondants pour ces deux mêmes régions accusent les fortes pluies pour l'érosion de leurs côtes. La hausse du niveau marin relatif est, selon 58 % des répondants de la baie des Chaleurs, une importante cause d'érosion, comme le sont les pluies diluviennes. Pour Sept-Îles, ce sont principalement les modifications faites par les activités humaines et la hausse du niveau marin relatif qui occasionnent l'érosion littorale. On peut affirmer que plus de 50 % des répondants, pour les quatre régions, croient que les modifications anthropiques favorisent l'érosion côtière. Les répondants de la Minganie trouvent plutôt que ce sont les vents violents qui les affectent (39 %), alors que les vagues de tempête les affectent dans 27 % des cas. Pour l'ensemble des régions, la plupart des répondants accusent le réchauffement climatique comme étant une des causes de l'érosion (figure 3.3).

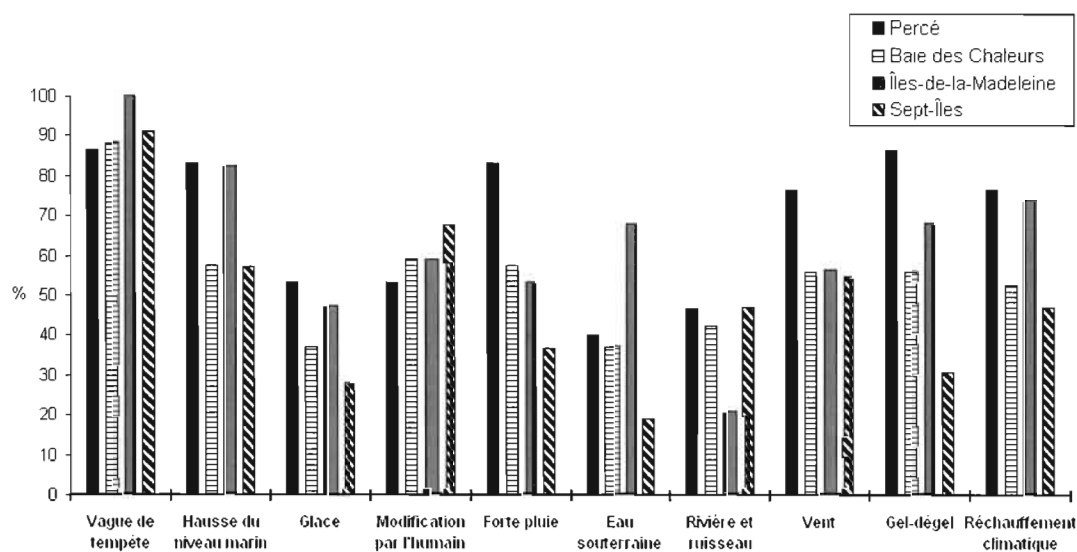


Figure 3.3. Causes de l'érosion côtière d'après les répondants.

c) Changements environnementaux observés

Le changement environnemental le plus marquant observé par les répondants a été la diminution importante de la couverture de glace côtière (tableau 3.5). Ensuite, pour 60 % et 45 % des répondants de Percé, il y aurait respectivement une augmentation du nombre de pluies diluviennes et une diminution de la largeur de la plage. Plus de la moitié des répondants de la baie des Chaleurs (53 %) observent une augmentation du niveau de la ligne des hautes marées. Aux Îles-de-la-Madeleine, une augmentation du nombre de tempêtes est observée. Une majorité de répondants des Îles-de-la-Madeleine, de la baie des Chaleurs et de Sept-Îles observe une augmentation du nombre de redoux hivernaux. Pour la région de la Minganie, les perceptions des répondants à l'égard des changements environnementaux ne montrent aucune tendance. Mentionnons toutefois que certains répondants observent une diminution de la largeur de la plage (38 %) et une augmentation du nombre de redoux hivernaux (39 %). La majorité des répondants de Sept-Îles ne voit aucun changement environnemental significatif (tableau 3.5).

Tableau 3.5. Changements environnementaux observés par les répondants.

Régions- éléments/perceptions	Diminution (%)	Aucun changement (%)	Augmentation (%)	Ne sait pas (%)	Tendance observée**
Percé					
Largeur de la plage	43	33	20	3	↓
Ligne des hautes marées	7	40	23	30	↑
Couverture de glace	<u>62</u>	10	14	14	↓
Redoux hivernaux	0	40	33	27	↑
Pluies diluviennes	0	27	<u>60</u>	13	↑
Tempêtes	13	27	40	20	↓
Baie des Chaleurs*					
Largeur de la plage	29	53	18	-	↓
Ligne des hautes marées	8	39	<u>53</u>	-	↑
Couverture de glace	36	59	5	-	↓
Redoux hivernaux	3	41	<u>56</u>	-	nd
Pluies diluviennes	3	58	39	-	nd
Tempêtes	12	49	39	-	nd
Îles-de-la-Madeleine					
Largeur de la plage	24	52	24	0	↓
Ligne des hautes marées	6	39	33	21	↑
Couverture de glace	<u>61</u>	29	0	10	↓
Redoux hivernaux	0	44	<u>50</u>	6	↑
Pluies diluviennes	6	75	19	0	↑
Tempêtes	0	44	<u>53</u>	3	↓
Sept-Îles					
Largeur de la plage	34	51	12	3	—
Ligne des hautes marées	12	50	22	16	↑
Couverture de glace	37	37	6	19	↓
Redoux hivernaux	0	42	<u>54</u>	4	↑
Pluies diluviennes	8	78	7	7	↑
Tempêtes	7	64	22	7	↓
Minganie*					
Largeur de la plage	39	44	17	-	nd
Ligne des hautes marées	11	51	38	-	—
Couverture de glace	<u>46</u>	46	8	-	↓
Redoux hivernaux	8	53	39	-	↑
Pluies diluviennes	13	69	18	-	nd
Tempêtes	33	41	26	-	↑

*L'option «Ne sait pas» n'était pas dans les choix de réponses.

**↑ = hausse; ↓ = diminution; — = stable; Sources : Bernatchez *et al.*, 2008a; Bernatchez *et al.*, 2008b; Shaw *et al.*, 1998; Koohzare *et al.*, 2006; Dolan, R. et Davis, R. E., 1992.

d) Actions pour se protéger ou s'adapter face à l'érosion côtière

Jusqu'à maintenant, les actions privilégiées par les résidents pour se protéger et s'adapter aux aléas côtiers correspondent principalement à des structures lourdes et rigides (>98 %), notamment les enrochements, les murets de bois, de béton ou de pierres et les épis rocheux (tableau 3.6). En raison de la présence de nombreuses flèches littorales et de tombolos dunifiés, les ganivelles ont aussi été préconisées aux îles de la Madeleine.

Pour le futur, les actions préconisées par les répondants pour se protéger et s'adapter à l'érosion côtière sont surtout l'enrochement et un meilleur zonage ainsi que la plantation de végétaux (tableau 3.6). À l'exception de la région de Sept-Îles, la majorité des répondants croit que l'enrochement est la meilleure solution pour contrer l'érosion côtière.

Tableau 3.6. Longueur et type d'artificialité sur la côte, actions privilégiées par les répondants pour contrer ou s'adapter à l'érosion côtière, responsables des coûts pour l'action et proportion des répondants qui voudrait un partage des coûts.

Région/ Longueur d'artificialité (m)	Type d'artificialité	(%)	Actions privilégiées pour contrer ou s'adapter à l'érosion côtière	Responsable des coûts pour les actions	Partage des coûts (%)
Percé/ 9 278	Enrochement	68	-Enrochement (70%) -Muret (67%) -Normalisation des milieux côtiers (63%) -Plantation de végétaux (57%) -Meilleur zonage (57%)	-Gouvernement fédéral (97%) -Gouvernement provincial (87%) -MRC (63%) -Municipalité (63%) -Propriétaire (37%)	83
	Muret de bois	15			
	Promenade en bois, muret de béton	8			
	Quai/épîs	3			
	Muret de béton en palier	2			
	Enrochement et blocs de béton	2			
	Remblai	1			
	Muret de pierres	< 1			
	Remblai et blocs de béton	< 1			
	Rampe de mise à l'eau	< 1			
	Total	100			
Baie des Chaleurs/ 13 934	Muret de béton	52	-Enrochement (59%) -Interdiction de construire (56%) -Réglementation des milieux côtiers (51%) -Plantation de végétaux (49%) -Meilleur zonage (44%)	-Propriétaire (63%) -Gouvernement fédéral (59%) -Municipalité (59%) -Gouvernement provincial (54%) -MRC (49%)	73
	Enrochement	19			
	Muret de bois	15			
	Quai	8			
	Muret de béton/enrochement	6			
	Total	100			
Îles-de-la- Madeleine/ 7 936	Enrochement	59	-Enrochement (62%) -Interdiction de construire (59%) -Meilleur zonage (56%) - Déplacement de la résidence (44%)	- Gouvernement fédéral (91%) - Gouvernement provincial (91%) - Municipalité (72%) - Propriétaire (56%)	85
	Ganivelle	13			
	Quai/jetée	8			
	Zone portuaire	6			
	Muret de bois	5			
	Remblai	3			
	Muret de béton	2			
	Dalles de béton	1			
	Remblai/blocs de béton/sacs de sable	1			
	Remblai et dalles de béton	1			
	Tuyau de rejet	1			
	Total	100			

Tableau 3.6 (suite). La longueur et le type d'artificialité sur la côte, les actions privilégiées par les répondants pour contrer ou s'adapter à l'érosion côtière, les responsables de coût pour l'action et la proportion des répondants qui voudrait un partage des coûts.

Région/ Longueur d'artificialité (m)	Type d'artificialité	(%)	Actions privilégiées pour contrer ou s'adapter à l'érosion côtière	Responsable des coûts pour les actions	Partage des coûts (%)
Sept-Îles/ 12 188	Enrochement	72	-Plantation de végétaux (77%) -Enrochement (59%) -Meilleur zonage (44%) -Épis (37%)	- Gouvernement fédéral (89%) - Gouvernement provincial (89%) - Municipalité (82%) - MRC (81%) - Propriétaire (77%)	89
	Muret de béton	10			
	Épis rocheux	7			
	Muret de bois	6			
	Infrastructure portuaire (quai, industriel, brise- lames et épis rocheux)	3			
	Remblai	1			
	Ensablement	1			
	Total	100			
Minganie/ 1 404	Muret de bois/enrochement	67	-Enrochement (68%) -Plantation de végétaux (37%) -Déplacement de la résidence (37%) -Muret (34%) -Meilleur zonage (34%)	-Gouvernement provincial (81%) - Gouvernement fédéral (76%) - MRC (68%) - Municipalité (61%) - Propriétaire (12%)	46
	Enrochement	26			
	Muret de béton	5			
	Quai	1			
	Épis rocheux	1			
	Total	100			

e) Responsables des coûts pour réaliser les interventions

Pour les régions de Percé, des îles de la Madeleine, de Sept-Îles et de la Minganie, plus de 75% des répondants trouvent que les gouvernements fédéral et provincial devraient être responsables des coûts pour les actions de protection (tableau 3.6). Dans la baie des Chaleurs, 63 % des répondants le propriétaire devrait être responsable des coûts selon. Ensuite, viennent les différents paliers gouvernementaux. Pour la plupart des répondants de la Minganie, le propriétaire ne devrait pas être responsable des coûts associés aux actions entreprises contre l'érosion côtière. Enfin, le coût de ces actions devrait être partagé par l'ensemble des gouvernements et des riverains selon la majorité des répondants, sauf pour la Minganie.

3.6. Relation entre les perceptions et les données géoscientifiques

L'intégration des données géoscientifiques sur la dynamique côtière permet de mieux comprendre les perceptions des résidents et de constater qu'il existe une bonne concordance des perceptions des résidents à l'égard des facteurs et des causes de l'érosion côtière. Selon les perceptions, la région des Îles-de-la-Madeleine est celle la plus affectée par l'érosion et par la perte de terrain. Ce milieu insulaire parfois très étroit, formé surtout de sable et de falaises de grès et d'argilite, est localisé au centre du golfe du Saint-Laurent, ce qui l'expose directement aux ondes de tempête tout en étant très sensible à différents processus hydrogéologiques et cryogéniques. Une classification côtière réalisée en 2006 sur l'ensemble de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent indique que les îles de la Madeleine présentent aussi le plus fort pourcentage de côte en érosion, soit 68 % (Bernatchez, 2006). Elle est suivie de près par la région de la Gaspésie avec 67 % des côtes en érosion, ce qui cadre bien avec les valeurs élevées obtenues auprès des résidents de la baie des Chaleurs et de Percé. Dans la région de Sept-Îles, les résidents se disent peu affectés par l'érosion et par la perte de terrain (<25 %). Ce constat va dans le même sens que les résultats récents obtenus sur l'évolution du trait de côte entre 1931 et 2006, qui indiquent que le bilan général de la région de Sept-Îles est positif et que le littoral est généralement en progradation, particulièrement pour les terrasses de plage (Bernatchez *et al.*, 2008a). Or, celles-ci occupent 85 % des types de côtes de la région de Sept-Îles et 83 % des résidents interrogés vivaient sur une terrasse de plage. La région de la Minganie constitue l'un des secteurs les plus actifs du golfe du Saint-Laurent (Bernatchez et Dubois, 2004). Or, les résultats des perceptions pourraient laisser croire le contraire puisque seulement 12 % des répondants de la Minganie ont perdu du terrain. Trois facteurs environnementaux peuvent expliquer cette faible valeur : 1) les zones les plus exposées aux aléas côtiers sont inhabitées; 2) les zones habitées à risque, surtout de glissements de terrain, ont depuis quelques décennies été stabilisées par des enrochements massifs et des murets; 3) le village de Rivière-Saint-Jean, qui compte 30 % du total des répondants de la Minganie, est situé dans un estuaire protégé naturellement des vagues de tempête par deux flèches littorales d'embouchure. D'ailleurs, le pourcentage le plus élevé de répondants qui indiquent une diminution des tempêtes correspond à la Minganie. Il existe aussi un écart important entre les répondants de la baie des Chaleurs qui se disent affectés par

l'érosion (61%) et ceux qui perdent réellement du terrain (36 %). Les littoraux sensibles aux aléas côtiers sont nombreux dans la baie des Chaleurs et plusieurs des activités récréatives se pratiquent dans des zones sensibles. Ceci pourrait expliquer, en partie, le fort pourcentage de répondants se disant affectés par l'érosion. L'autre explication la plus probable est que 68 % des répondants ont mis en place des défenses côtières pour protéger leur terrain, de sorte que la majorité considère leur terrain comme étant stabilisé même si, dans les faits, l'érosion se poursuit à plusieurs endroits (figure 3.4) (Bernatchez *et al.*, 2008b).



Figure 3.4. Zone résidentielle à Maria dans la baie des Chaleurs. Les propriétaires ont construit un mur en bois pour protéger leur terrain et leur maison. Ces maisons se retrouvent dans une zone à risque de submersion. D'ailleurs, en temps de fortes tempêtes, les vagues passent au-dessus du mur en bois et immergent le terrain. Derrière le mur, le terrain se fait éroder à quelques endroits (LDGIZC, 2008).

Les causes de l'érosion côtière dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent sont principalement attribuées à l'action des vagues, particulièrement lors des marées de vive eau et des tempêtes (Dionne, 2001; Dubois et Lessard, 1986; Dubois, 1999; Bernatchez et Dubois, 2004). C'est aussi ce qui ressort fortement des perceptions des résidents de l'ensemble de nos régions d'étude. La hausse du niveau marin est aussi ciblée comme cause responsable de l'érosion par les répondants, particulièrement pour la région de Percé et des Îles-de-la-Madeleine. Encore une fois, la tendance actuelle du niveau marin relatif est davantage en croissance pour ces deux régions et le sud du golfe du Saint-Laurent (Tarasov et Peltier, 2004; Koozhare *et al.*, 2006). L'action du gel-dégel est un facteur important d'érosion

côtière selon les répondants de Percé et des Îles-de-la-Madeleine. Or, 53 % et 79 % des répondants de ces deux régions vivent en bordure de falaises rocheuses très sensibles à la gélifraction (Bernatchez et Dubois, 2004; Daigneault, 2001). D'ailleurs, pour ces deux régions, la période du printemps est une période propice à l'érosion, ce qui correspond à la période de dégel où les processus cryogéniques sont très actifs. Au Québec, le réchauffement climatique a des incidences directes sur les processus de gel-dégel, sur la diminution de la couverture de glace, sur l'intensification des processus glaciels et sur la hausse du niveau marin relatif (Bernatchez et Dubois, 2004; Bernatchez *et al.*, 2008). Il est intéressant de constater que les répondants de Percé et des Îles-de-la-Madeleine ont été les plus nombreux à identifier ces différentes causes de l'érosion côtière, de même que le réchauffement climatique (figure 3). De plus, les falaises de grès et d'argilite qu'on retrouve aux Îles-de-la-Madeleine sont, en général, affectées par les processus hydrogéologiques (Bernatchez *et al.*, 2008), ce qui explique que près de 70 % des répondants ont mentionné les eaux souterraines comme une cause importante de l'érosion. La tendance des données des pluies diluviennes est à la hausse pour cette région (Friesinger, 2009). Les répondants de la région de Percé ont, dans une forte proportion, indiqués que les fortes pluies favorisaient l'érosion. D'ailleurs, il a été démontré sur les versants rocheux de la Gaspésie que les fortes pluies étaient un facteur important dans le déclenchement des chutes de pierres, des coulées de débris et du ravinement (Hétu et Gray, 2002). Pour la région de Sept-Îles, les perturbations anthropiques constitueraient selon la perception des répondants la deuxième cause de l'érosion côtière. Selon eux, les activités qui auraient le plus d'impacts en ordre d'importance sont le prélèvement de sable (74 %), les barrages hydroélectriques (67 %), les VTT (67 %) et les défenses côtières en enrochement (57 %). Dans un contexte de renforcement des capacités d'adaptation des communautés côtières aux changements climatiques, il faut avant tout qu'elles reconnaissent le phénomène auquel elles doivent s'adapter (Stamm *et al.*, 2000; Stern, 2000). Il est intéressant de constater que la majorité des répondants interrogés identifie le réchauffement climatique comme cause importante de l'érosion côtière et qu'une forte proportion reconnaisse les causes et les processus qui conditionnent les aléas auxquels ils doivent s'adapter.

Pour ce qui concerne les changements environnementaux, une diminution de la couverture de glace a été, depuis 1998, plutôt drastique et perçue particulièrement par les répondants des régions de Percé et des Îles-de-la-Madeleine, soit les deux régions d'étude les plus exposées dans le golfe du Saint-Laurent. Il semble que la perception des répondants peut être influencée par des événements récents. C'est notamment le cas des pluies diluviennes importantes qui ont frappé la partie orientale de la Gaspésie depuis 1996 (Friesinger, 2009) et qui peuvent expliquer qu'une majorité de répondants de Percé perçoivent une augmentation de ce phénomène. Les données géoscientifiques révèlent une diminution de la largeur des plages (Bernatchez *et al.*, 2008) et une hausse du niveau marin relatif, du moins pour le sud du golfe du Saint-Laurent (Koozhare *et al.*, 2006). Pourtant, la plupart des répondants ne reconnaissent pas de changement pour ces deux éléments. Le même constat s'applique pour les phénomènes météorologiques, sauf pour les redoux hivernaux où une majorité de répondants des régions des Îles-de-la-Madeleine, de la baie des Chaleurs et de Sept-Îles observe une augmentation du nombre de redoux. Cette perception est sans doute conditionnée par le fait que le réchauffement des températures au Québec est généralement supérieur en hiver (Jolivet et Bernatchez, 2008). Les répondants n'observent donc pas de changements environnementaux significatifs qui pourraient avoir des incidences sur l'intensité des aléas côtiers. Le nombre d'années de résidence des répondants généralement inférieur à 31 ans pourrait expliquer en partie ce résultat. D'ailleurs, la région de Sept-Îles, où le nombre moyen d'années de résidence est le plus bas avec 18 ans, est la région où les répondants observent le moins de changements, alors qu'au contraire, les répondants de la région de Percé avec un nombre moyen d'années de résidence de 31 ans constatent le plus de changements (tableaux 4.4 et 4.5). Comme pour les études de Bird et Dominey-Howes (2008), Dominey-Howes et Minos-Minopoulos (2004), et Gregg *et al.* (2004), l'âge des participants ainsi que le nombre d'années de résidence peuvent influencer directement les perceptions et les connaissances de chacun sur leur environnement (Cutter *et al.*, 2008). Cependant, lorsqu'on regarde les résultats pour la région de la Minganie, l'âge et l'année de résidence ne semble pas avoir d'influence sur les perceptions face aux changements environnementaux. Malgré que la moyenne d'années de résidence est de 28 ans, une grande partie des répondants de la Minganie ne remarquent aucun changement. Certains changements environnementaux sont plutôt graduels et sont donc difficilement perceptibles par les répondants. Les phénomènes

météorologiques sont épisodiques ou suivent des cycles courts ou longs, de sorte que la période nécessaire pour dégager des tendances est généralement supérieure à la période de résidence des répondants sur le littoral. Les données des stations météorologiques pour les tempêtes, les pluies diluviennes et les redoux hivernaux n'indiquent pas de tendances significatives (Jolivet et Bernatchez, 2008). Même si les répondants perçoivent bien les causes de l'érosion côtière, le fait que la majorité ne perçoive pas les changements environnementaux, qui eux, affectent directement l'intensité des aléas côtiers, pourrait limiter la mise en place de stratégies d'adaptation.

A posteriori, l'enrochement demeure la mesure de protection privilégiée par les répondants. Celle-ci a aussi été préconisée dans le passé (tableau 4.6) et semble offrir un sentiment de sécurité aux résidents (French, 2006; Myatt *et al.*, 2003a). Pourtant, plusieurs répondants sont conscients des impacts négatifs de ces structures sur les plages et les zones côtières adjacentes et indiquent mêmes qu'elles favorisent l'érosion côtière. Dans la région de Sept-Îles, les enrochements ont provoqué une réduction de 84 % de la largeur des plages (Bernatchez *et al.*, 2008). D'ailleurs, les répondants de cette région ont été les plus nombreux à mentionner que les perturbations anthropiques étaient l'une des principales causes de l'érosion. Ce constat pourrait aussi expliquer qu'ils ont été les seuls à opter pour une approche douce comme première solution avec la plantation de végétaux (77%). Paradoxalement, ils préconisent l'enrochement au deuxième rang des solutions (59 %). Nos résultats contrastent avec ceux de Ives et Furuseth (1988) sur les côtes sableuses de la Caroline du Nord, aux États-Unis, où les résidents côtiers préconisent davantage des approches non-structurelles telles la plantation de végétaux et la recharge en sable. Au Delaware, la mesure préconisée pour contrer l'érosion est la recharge en sable (Daniel, 2001). Les résidents sont, cependant, plus ou moins prêts à payer plus de taxes pour les mesures de protection, ni pour l'aménagement des plages (Daniel, 2001). Ici, plus de la moitié des résidents interrogés privilégie pour le futur une méthode d'adaptation inappropriée pour les côtes basses sablonneuses (terrasse de plage, flèche littorale, tombolo) de sorte que la mise en action de ces moyens d'adaptation n'augmentera pas leur résilience, mais aura au contraire pour effet de réduire leur résilience. En effet, l'érosion et l'abaissement du profil des plages associés aux structures rigides de protection augmente la vulnérabilité des communautés

côtières aux risques de submersion et aux tempêtes (Hill *et al.*, 2004; Bernatchez *et al.*, 2008b). Comme le mentionnent Delusca *et al.* (2004) et Myatt *et al.* (2003b), il y a encore beaucoup de sensibilisation à faire auprès des résidents côtiers concernant les solutions d'adaptation aux aléas côtiers. Plusieurs répondants demeurent tout de même conscients du risque d'érosion et croient qu'une meilleure réglementation des milieux côtiers serait une façon adéquate pour mieux s'adapter aux aléas côtiers.

La capacité à pouvoir payer les mesures d'adaptation peut aussi jouer un rôle important dans le niveau de résilience des collectivités côtières. La responsabilité des coûts devrait, selon les répondants, surtout concerner les différents paliers gouvernementaux. Les répondants sont néanmoins en accord avec l'idée de partage des coûts entre les acteurs. Une importante proportion des répondants (entre 73 % et 89 %, selon la région) sont prêts à défrayer une partie des coûts de la mise en œuvre des solutions d'adaptation. Une autre étude sur les perceptions des résidents face aux changements climatiques et leur volonté de payer les coûts s'est effectuée dans la région de Los Angeles, États-Unis (Berk et Fovell, 1999). Elle montre que près de 40 % des répondants sont prêts à déboursier une partie des coûts des mesures de préventions des impacts des changements climatiques. Comme le montre nos analyses, Daniel (2001) remarque qu'il est important de considérer les perceptions et l'opinion des citoyens face aux moyens de protection contre l'érosion. Les répondants questionnés dans son étude ont exprimé leur accord sur la mesure de recharge en sable sur la plage malgré les coûts associés à ce type d'action. Ils considèrent, cependant, que les gouvernements locaux et l'État devraient être les premiers responsables pour défrayer les coûts de recharge en sable.

3.7. Conclusion

L'intégration des données géoscientifiques sur la dynamique côtière permet de mieux comprendre les perceptions des résidents et de constater que les répondants ont plutôt une bonne connaissance des causes de l'érosion côtière. Les études scientifiques auraient avantage à intégrer le savoir des communautés côtières puisqu'elles permettent aussi d'identifier des événements qui ont eu des impacts importants sur les systèmes côtiers. Leurs connaissances aident à préciser les seuils à partir desquels les phénomènes naturels ont des effets sur le littoral et sont susceptibles d'affecter les communautés côtières. Les changements environnementaux à long terme sont toutefois difficilement perceptibles par les communautés côtières. Il est encore nécessaire de sensibiliser les résidents des milieux côtiers aux différents risques côtiers et surtout aux différentes mesures d'adaptation. Malgré une bonne connaissance des aléas et des causes d'érosion, les moyens d'adaptation que les résidents côtiers adoptent ne sont pas toujours appropriés pour le type de système côtier. Dans l'ensemble des régions d'étude, les structures lourdes et rigides sont privilégiées par une majorité de répondants, même s'il est reconnu qu'elles ont des impacts majeurs sur la dynamique côtière et qu'elles peuvent globalement réduire la résilience côtière. La variabilité des perceptions entre les régions d'étude s'explique par leur localisation géographique dans le golfe du Saint-Laurent, mais surtout par la nature des types de côtes en bordure desquels les répondants vivent et les processus naturels et anthropiques qui les affectent.

3.8. Références bibliographiques

Adger, W. N., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16; 3; 268-281.

Alessa, L. N., Kliskey, A. A., Williams, P., Barton, M., 2008. Perception of change in freshwater in remote resource-dependent Arctic communities. *Global Environmental Change*, 18; 1; 153-164.

Berk, R. A., et Fovell, R.G., 1999. Public perceptions of climate change 'a willingness to pay' assessment. *Climatic change*, 41; 413-446.

Bernatchez, P. et Dubois, J.-M.M., 2004. Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, 58; 1; 45-71.

Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. et Morissette, A., 2008a. Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC, 256 p.

Bernatchez, P., Fraser, C. et Lefaivre, D., 2008b. Effets des structures rigides de protection sur la dynamique des risques naturels côtiers : érosion et submersion. 4e Conférence canadienne sur les géorisques. Université Laval, Québec, QC, Canada, 20-24 mai 2008, 487-494.

Bernatchez, P., Morneau, F., Saucier, F. et Savard, J-P., 2004. Évaluation de la sensibilité des côtes et de la vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts appréhendés des changements climatiques. Les actes de Colloque, 1^{er} Colloque Ouranos sur les changements climatiques, juin 2004, Montréal.

Bird, D. et Dominey-Howes, D., 2008. Testing the use of a 'questionnaire survey instrument' to investigate public perceptions of tsunami hazard and risk in Sydney, Australia. *Natural Hazards*, 45; 99-122.

Brody, S. D., Highfield, W., 2004. Does location matter? Measuring environmental perceptions of creeks in two San Antonio Watersheds. *Environment and Behavior*, 36; 2; 229-250.

Carvalho, T. M. M. et Coelho, C. O. A., 1998. Coastal risk perception: a case study in Aveiro District, Portugal. *Journal of Hazardous Materials*, 61; 263-270.

Cutter, S., Barnes, L., Berry, M., Buton, C., Evans, E., Tate, E. et Webb, J., 2008. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 18; 598-606.

Daigneault, M., 2001. Processus d'altération/érosion à l'interface océan/continent/atmosphère : aspects quantitatifs et semi-quantitatifs- Exemple des falaises de l'Est du Canada (Gaspésie). Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet, 319 p.

Daniel, H., 2001. Replenishment versus retreat: the cost of maintaining Delaware's beaches. *Ocean & Coastal Management*, 44; 87-104.

Delusca, K., Trambly, M. et Chouinard, O., 2004. Climate change, perceptions and perspectives: Case study of costal communities in south-eastern part of New Brunswick. Technical Report, Université de Moncton, Nouveau-Brunswick, 10 p.

Dionne, J. C., 2001. Mesures récentes de l'érosion des schorres supérieurs à Montmagny et à Sainte-Anne-de-Beaupré, moyen estuaire du Saint-Laurent. *Conférence canadienne sur le littoral 2001*, Association canadienne pour la science et le génie du littoral, Québec, 363-375.

Dolan, R. et Davis, R. E., 1992. An Intensity Scale for Atlantic Coast Northeast Storms. *Journal of Coastal Research*, 8; 4; 840-853.

Dominey-Howes, D. et Minos-Minopoulos, D., 2004. Perceptions of hazard and risk on Santorini. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*; 137; 285-310.

Dubois, J.-M.M., 1999. Dynamique de l'érosion littorale sur la Côte-Nord du Saint-Laurent :20-52. In Actes : *Colloque régional sur l'érosion des berges : vers une gestion intégrée des interventions en milieu marin* (Baie-Comeau, 19 au 21 février 1999). Municipalité régionale de comté (MRC) de Manicouagan et Comité de la Zone d'intervention prioritaire (ZIP) de la rive nord de l'estuaire, Baie-Comeau; 207 p.

Dubois, J.-M.M. et Lessard, G. L., 1986. Erosion rates and causes, Northern Gulf of St-Lawrence, Québec, Canada. *Thalassas*, 4; 1; 63-70.

French, P., 2004. The changing nature of, and approaches to, UK coastal management at the start of the twenty-first century. *The Geographical Journal*, 170; 2; 116-125.

French, P. W., 2006. Managed realignment -The developing story of a comparatively new

approach to soft engineering. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67; 409-423.

Friesinger, S., 2009. Géorisques côtiers: adaptation et perceptions des communautés côtières dans le golfe du Saint-Laurent. Mémoire de maîtrise en géographie, Université du Québec à Rimouski, 168 p.

Gregg, C. E., Houghton, B. F., Paton, D., Swanson, D.A. et Johnston, D. M., 2004. Community preparedness for lava flows from Mauna Loa and Hualalai volcanoes, Kona, Hawai'i. *Bulletin Volcanologique*, 66; 531-540.

Hétu, B. et Gray, J., 2000. Effects of environmental change on scree slope development throughout the postglacial period in the Chic-choc Mountain in the northern, Gaspé Peninsula, Quebec. *Geomorphology*, 32; 335-355.

Hill, H. W., Kelley, J. T., Belknap, D.F. et Dickson, S. M., 2004. The effects of storms and storm-generated currents on sand beaches in Southern Maine, USA. *Marine Geology*, 210; 149-168.

Ives, S. M. et Furuseth, O. J., 1988. Community response to coastal erosion: the view from two North Carolina Beach Areas. *Ocean & Shoreline Management*, 11; 177-193.

Jones, R. E. et Dunlap, R. E., 1992. The social bases of environmental concern : Have they changed over time? *Rural Sociology*, 57; 1; 28-47.

Koohzare, A., Vaníček, P., et Santos, M., 2006. Compilation of the map of recent vertical crustal movements in eastern Canada using GIS, *Journal of Surveying Engineering, ASCE*, 132; 4; 160-167.

Meur-Férec, C., 2006. Essai inédit - De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe. HDR, Université de Nantes, France, 247 p.

Myatt, L. B., Scrimshaw, M. D. et Lester, J. N., 2003a. Public perceptions and attitudes towards an established managed realignment scheme: Orplands, Essex, UK. *Journal of Environmental Management*, 68; 173-181.

Myatt, L. B., Scrimshaw, M. D., Lester, J. N., 2003b. Public perceptions and attitudes towards a forthcoming managed realignment scheme: Freiston Shore, Lincolnshire, UK. *Ocean & Coastal Management*, 46; 565-582.

O'Connor, R. E., Bard, R. J. et Fisher, A., 1999. Risk Perceptions, General Environmental Beliefs, and Willingness to Address Climate Change. *Risk Analysis*, 19; 3; 461-471.

Peterlin, M., Kontic, B. et Kross, B. C., 2005. Public perception of environmental pressures within the Slovene coastal zone. *Ocean & Coastal Management*, 48; 189-204.

Pierre, G., 2006. Processes and rate of retreat of the clay and sandstone sea cliffs of the northern Boulonnais (France). *Geomorphology*, 73; 64-77.

Roca, E., et Villares, M., 2008. Public perceptions for evaluating beach quality in urban and semi-natural environments. *Ocean & Coastal Management*, 51; 314-329.

Savard, J. P., Bernatchez, P., Morneau, F. et Saucier, F., 2009. Vulnérabilité des communautés côtières de l'est du Québec aux impacts des changements climatiques. *La Houille blanche*, 2 :sous presse.

Tarasov, L. et Peltier, W. R., 2004. A geophysically constrained large ensemble analysis of the deglacial history of the North American ice-sheet complex. *Quaternary Science Reviews* 2004, 23; 359-388.

Van Liere, K. D. et Dunlap, R. E., 1981. Environmental concern - Does it make a difference how it's measured? *Environment and Behavior*, 13; 651-676.

TROISIÈME PARTIE

4. CONCLUSION

Cette recherche montre que la gestion des risques côtiers doit se faire en considérant les impacts des événements extrêmes naturels et en intégrant la perception des communautés côtières. Les différents processus et aléas côtiers ont été décrits pour comprendre la dynamique côtière qui subit des effets des changements climatiques imminents. Les processus aérodynamiques et hydrodynamiques sont ceux les plus étudiés. Ils représentent, entre autres, les vagues et les vents. Les processus hydrogéologiques et gravitaires, quant à eux, sont plutôt associés aux pluies. Les autres processus, comme les processus de météorisation, biologiques et la hausse du niveau marin relatif, ont aussi une place importante dans les aléas côtiers retrouvés au Québec. Les aléas comme les tempêtes et les pluies diluviennes sont conditionnés par les processus aérodynamiques et hydrodynamiques. Une section de l'étude porte sur les processus anthropiques qui prennent de plus en plus de place dans les zones côtières. En effet, plus du tiers de la population québécoise vit à moins de 500 m des berges du Saint-Laurent (Lemmen *et al.*, 2008) et plus de 90 % de la population vit à moins de 5 km du littoral. Il y a alors une demande urgente de planification et de gestion des risques des littoraux au Québec. Le niveau de risque s'explique par la présence d'aléas et d'une population importante le long des côtes du Saint-Laurent. Dans cette gestion, les changements climatiques doivent être intégrés. Les événements extrêmes naturels subissent certaines conséquences des changements climatiques et doivent donc être tenus en compte dans la gestion des risques. La plupart des études portant sur ce sujet établissent des seuils météorologiques qui aident à l'analyse des événements extrêmes. Ces seuils servent à décrire les événements et leurs impacts sur la côte. Ils permettent d'émettre des hypothèses dans la récurrence des événements extrêmes ce qui apporte des précisions pour le zonage des risques. Cependant, l'approche uniquement statistique de ces seuils limite l'analyse des risques. Une approche qui intègre à la fois les seuils et les méthodes statistiques ainsi que les archives permettrait une analyse beaucoup plus complète. Les archives décrivent les impacts des événements et permettent d'avoir un inventaire complet de ceux-ci. En effet, comme il a été montré dans notre étude, certains événements ne ressortent pas dans les données météorologiques alors qu'ils ont perturbé le littoral selon les archives. Les ondes de tempêtes de l'Atlantique pénètrent jusqu'aux côtes du Québec maritime et elles érodent et/ou submergent les côtes sans même être accompagnées de vents. Ce qui entraîne un manque dans les données météorologiques des vents.

Dans une gestion du littoral, la perception des gens vivant sur la côte est cruciale puisqu'ils sont les premiers touchés par les événements extrêmes et sont les premiers à implanter une mesure de protection contre l'érosion. Les causes de l'érosion semblent bien connues par les résidents, mais les solutions pour contrer le phénomène sont surtout basées sur les structures rigides qui ne sont pas adéquates pour tous les milieux côtiers. Dans cette optique, la gestion côtière doit considérer le niveau de connaissances des résidents et intégrer leur perception face aux risques côtiers. Cette perception aura un impact direct sur les stratégies d'adaptation qu'une communauté optera et sur sa résilience suite à une catastrophe. La gestion des risques côtiers demeure un processus complexe et doit être vue comme étant une nécessité puisque la pression anthropique se fait de plus en plus sentir sur les environnements côtiers.

5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adger, W. N., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16; 3; 268-281.

Aguado, E. et J. E. Burt, 2007. Understanding weather and climate (4th edition). Upper Saddle River, N.J. Pearson Education, Inc., 562 p.

Alcock, F. J., 1941. The Magdalen Islands, their geology and minerals deposits. *Transactions of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 44, pp. 623-649.

Alessa, L. N., Kliskey, A. A., Williams, P., Barton M., 2008. Perception of change in freshwater in remote resource-dependent Arctic communities. *Global Environmental Change*, 18; 1; 153-164.

Allan, J. C. et Komar, P. D., 2006. Climate controls on US west coast erosion processes. *Journal of Coastal Research*, 22; 3; 511-529.

Anderson-Berry, L. J., 2003. Community vulnerability to tropical cyclones: Cairns, 1996-2000. *Natural Hazards*, 30; 209-232.

Anfuso, G. et Garcia, F.-J., 2005. Morphodynamic Characteristics and Short-Term Evolution of a Coastal Sector in SW Spain: Implications for Coastal Erosion Management. *Journal of Coastal Research*, 21; 6; 1139-1153.

Arlot, J.-E., Rocher, P., Frède, V. et Balança, C., 2001. Astrophysique sur mesure. Instituts Universitaires de Formation des Maîtres, Paris. Site Internet consulté le 2 mars 2006 : http://media4.obspm.fr/public/IUFM/chapitre2/souschapitre1/section2/page3/section2_1_2_3.html

Bail, P., 1983. Problèmes géomorphologiques de l'englacement et de la transgression marine pléistocènes en Gaspésie sud-orientale. Thèse de doctorat en géographie, Université McGill, 148 p.

Beltrando, G. et Chémery, L., 1995. Dictionnaire du climat. Références Larousse, 344 p.

Benavente, J., Del Rio L., Gracia F.J. et Martínez-del-Pozo, J.A., 2006. Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). *Continental Shelf Research*; 26; 1061-1076.

- Bengtsson, L., Hodges, K. I. et Roeckner, E., 2006. Storm tracks and climate change. *Journal of climate*, 19; 3518-3543.
- Berk, R. A. et Fovell, R. G., 1999. Public perceptions of climate change 'a willingness to pay' assessment. *Climatic change*, 41; 413-446.
- Bernatchez, P., 2003. Évolution littorale holocène et actuelle des complexes deltaïques de Betsiamites et de Manicouagan-Outardes : synthèse, processus, causes et perspectives. Thèse de doctorat, Université Laval, 460 p.
- Bernatchez, P., 2004. Impacts et causes de l'érosion côtière du Québec maritime. Affiche : 1er symposium Ouranos sur les changements climatiques, juin 2004, Montréal.
- Bernatchez, P. et Dubois, J.-M.M, 2004. Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, 2004, 58 ; 1 ; 45-71.
- Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. et Morissette, A., 2008a. Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC, 256 p.
- Bernatchez, P., Fraser, C. et Lefaivre, D., 2008b. Effets des structures rigides de protection sur la dynamique des risques naturels côtiers : érosion et submersion. 4e Conférence canadienne sur les géorisques. Université Laval, Québec, QC, Canada, 20-24 mai 2008, 487-494.
- Bernatchez, P., Morneau F., Saucier, F. et Savard, J-P., 2004. Évaluation de la sensibilité des côtes et de la vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts appréhendés des changements climatiques. Les actes de Colloque, 1^{er} Colloque Ouranos sur les changements climatiques, juin 2004, Montréal.
- Bernatchez, P. et Quintin, C., 2007. Synthèse des connaissances actuelles de la dynamique géomorphologique de l'écosystème côtier de la Réserve de parc national du Canada de l'Archipel-de-Mingan (RPNCAM). Rapport de recherche remis à Parcs Canada. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR, 56 p.
- Bird, D. et Dominey-Howes, D., 2008. Testing the use of a 'questionnaire survey instrument' to investigate public perceptions of tsunami hazard and risk in Sydney, Australia. *Natural Hazards*, 45; 99-122.

Bird, E. C. F., 1976. Shoreline changes during the past century; a preliminary review. International Geographical Union, Working group on the Dynamics of Shoreline Erosion, 23rd IGU Congress, Moscow, 1976; Department of Geography, University of Melbourne, 54 p.

Bird, E.C.F., 1980. Recent change on the world's sandy shorlines. 24e Congrès international de géographie, Commission de l'environnement côtier, Excursion C-15, Shimoda (Japon), 26 p.

Bird, E. C. F., 1981. World-wide trends in sandy shoreline changes during the past century. *Géographie physique et Quaternaire*, 35; 2; 241-244.

Bird, E. C. F., 1985. Coastline changes: a global review. John Wiley & Sons, Chichester, 219 p.

Bird, E. C. F., 1993. Submerging coasts, the effects of a rising sea level on coastal environments. John Wiley & Sons, Chichester, 174 p.

Bosserman, K. et Dolan, R., 1968. The frequency and magnitude of extratropical storms along the outer banks of North Carolina, National Park Service Tech. 68-4, Contract 14-1013101577, Charlottesville, Virginia, 58 p.

Brisebois, D., 1981. Lithostratigraphie des strates permo-carbonifères, de l'archipel des Îles de la Madeleine. Ministère de l'énergie et des ressources du Québec. 48 p.

Brody, S. D. et Highfield, W., 2004. Does location matter? Measuring environmental perceptions of creeks in two San Antonio Watersheds. *Environment and Behavior*, 36; 2; 229-250.

Carson, M. A. et Lajoie, G., 1981. Some Constraints on the Severity of Landslides Penetration in Sensitive Deposits. *Géographie physique et Quaternaire*, 35; 3: 301-316.

Carter, R. W. G. et Stone, G. W., 1989. Mechanisms associated with erosion of sand dune cliffs, Magilligan, Northern Ireland. *Earth surface processes and landforms*, 14; 1-10.

Carvalho, T. M. M. et Coelho, C. O. A., 1998. Coastal risk perception: a case study in Aveiro District, Portugal. *Journal of Hazardous Materials*, 61; 263-270.

Cattaneo, A. et Steel, R. J., 2003. Transgressive deposits: a review of their variability. *Earth-Science Reviews*, 62 ; 187–228.

Catolotti-Valdina, D. et Long, B., 1984. Évolution estuarienne d'une rivière régularisée en climat boréal : la rivière aux Outardes (côte nord du golfe du St-Laurent). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 21; 25-34.

Church, J. A., White, N. J., Coleman, R., Lambeck, K. et Mitrovica, J.X., 2004: Estimates of the Regional Distribution of Sea Level Rise over the 1950–2000 Period. *Journal of Climate*, 17; 2609–2625.

Church, J. A. et White, N. J., 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise, *Geophysical. Research. Letters*, 33; L01602, doi:10.1029/2005GL024826.

Colantoni, P., Mencucci, D. et Nesci, O., 2004. Coastal processes and cliff recession between Gabicce and Pesaro (northern Adriatic Sea): a case history. *Geomorphology*, 62; 257–268.

Comité ZIP des Îles de la Madeleine, 2002. Plan d'action et de réhabilitation écologique des Îles-de-la- Madeleine, Cap-aux-Meules, Îles-de-la-Madeleine, juin 2002, 230 p.

Cooper, J.A.G. et Pilkey, H., 2004. Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. *Global and Planetary Change*, 43; 157–171.

Cooper, J. A. G., Jackson, D.W.T., Navas, F., McKenna, J., et Malvarez, G., 2004. Identifying storm impacts on an embayed, high-energy coastline: examples from western Ireland. *Marine Geology*, 210; 261-280.

CRÉ (Conférence régionale des élus) de la Côte-Nord, 2004. Entente spécifique sur l'érosion des berges de la Côte-Nord, les faits saillants : Vers un plan de gestion intégrée des zones côtières. Gouvernement du Québec, 9 p.

Cutter, S., Barnes, L., Berry, M., Buton, C., Evans, E., Tate, E. et Webb, J., 2008. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 18; 598-606.

Daigle, R., Forbes, D., Parkes, G., Ritchie, H., Webster, T., Bérubé, D., Hanson, A., DeBaie, L., Nichols, S. et Vasseur, L., 2006. Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick, Environnement Canada, 644 p.

- Daigneault, M., 2001. Processus d'altération/érosion à l'interface océan / continent / atmosphère: aspects quantitatifs et semi-quantitatifs- Exemple des falaises de l'Est du Canada (Gaspésie). Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet, 319 p.
- Daniel, H., 2001. Replenishment versus retreat: the cost of maintaining Delaware's beaches. *Ocean & Coastal Management*, 44; 87-104.
- Dawson, A., Elliott, L., Noone, S., Hickey, K., Holt, T., Wadhams, P. et Foster, I., 2004. Historical storminess and climate 'see-saws' in the North Atlantic region. *Marine Geology*; 210; 247– 259.
- Delusca, K., Trambly, M. et Chouinard, O., 2004. Climate change, perceptions and perspectives: Case study of coastal communities in south-eastern part of New Brunswick. Technical Report, Université de Moncton, Nouveau-Brunswick, 10 p.
- Desrosiers, G., Brêthes, J.-C. F. et Long, B. F., 1984. L'effet d'un glissement de terrain sur une communauté benthique médiolittorale du nord du golfe du Saint-Laurent. *Océanologica Acta*, 7; 2; 251-258.
- Dionne, J.-C., 1985. Tidal marsh erosion by geese, St. Lawrence estuary, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 39 : 99-105.
- Dionne, J.-C., 2001. Mesures récentes de l'érosion des schorres supérieures à Montmagny et à Sainte-Anne-de-Beaupré, moyen estuaire du Saint-Laurent. *Conférence canadienne sur le littoral 2001*, Association canadienne pour la science et le génie du littoral, Québec, 363-375.
- Dolan, R. et Davis, R. E., 1992. An Intensity Scale for Atlantic Coast Northeast Storms. *Journal of Coastal Research*, 8; 4; 840-853.
- Dolan, A.H., et Walker, I.J., 2004. Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks. *Journal of Coastal Research*, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), Special Issue.
- Dominey-Howes, D. et Minos-Minopoulos, D., 2004. Perceptions of hazard and risk on Santorini. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*; 137; 285-310.
- Douglas, B. C., Kearney, M. S. et Leatherman, S. P., 2000. Sea level change, history and consequences. Academic Press, London, 228 p.
- Drapeau, G. et Mercier, O., 1990. Modélisation de l'évolution du littoral des Îles de la Madeleine, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 44; 217-226.

Dredge, L.A., 1983. Surficial geology of the Sept-Iles area, Quebec North Shore. Memoire 408, Geological Survey of Canada, Ottawa. 40 p.

Dredge, L. A. et Grant, D. R., 1987. Glacial deformation of bedrock and sediment, Magdalen Islands and Nova Scotia, Canada. In: *Tills and glaciotectonics*. Edité par J.J.M. van der Meer. Balkema, Amsterdam; 183-195.

Dredge, L. A., Mott, R. J. et Grant, D. R., 1992. Quaternary stratigraphy, paleoecology, and glacial history, Îles-de-la-Madeleine, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29; 1981-1996.

Dredge, L.A. et Thom, B.G., 1976. Development of a gully-flow near Sept-Îles, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 13; 1145-1151.

Drori, I. et Yutchman-Yaar, E., 2002. Environmental vulnerability in public perceptions and attitudes: The case of Israel's urban centers. *Social Science Quarterly*, 83; 1; 53-63.

Dubois, J.-M.M., 1979. Environnements quaternaires et évolution postglaciaire d'une zone côtière en émergence en bordure sud du Bouclier canadien : la Moyenne Côte Nord du Saint-Laurent. Thèse de doctorat, Université d'Ottawa, Ottawa, Ont., 754 p.

Dubois, J.-M.M., 1992. Le paysage naturel et son évolution. Dans : Les Îles-de-la-Madeleine: un pays à découvrir. *Info Géo Graphes*, 1; 41-46.

Dubois, J.M.M., 1996. Un territoire autochtone : des origines à 1830 : le milieu naturel. In Frenette, P., 1996. Histoire de la Côte-Nord. Les Presses de l'Université Laval, 667 p.

Dubois, J.-M.M., 1999. Dynamique de l'érosion littorale sur la Côte-Nord du Saint-Laurent :20-52. In Actes : *Colloque régional sur l'érosion des berges : vers une gestion intégrée des interventions en milieu marin* (Baie-Comeau, 19 au 21 février 1999). Municipalité régionale de comté (MRC) de Manicouagan et Comité de la Zone d'intervention prioritaire (ZIP) de la rive nord de l'estuaire, Baie-Comeau; 207 p.

Dubois, J.-M.M, Bernatchez, P., Bouchard, J.-D., Cayer, D., Daigneault, B. et Dugas, S., 2006. Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte-Nord du Saint-Laurent pour la période de 1996-2003. Comité d'experts de l'érosion des berges de la Côte-Nord, Avril 2006, 291 p. Site Internet consulté le 6 décembre 2006 : http://www.crecotenord.qc.ca/component/option,com_docman/task,cat_view/gid,33/Itemid,77/

Dubois, J.-M.M. et Grenier, A., 1993. The Magdalen Islands, Gulf of Saint Lawrence. In *Coastlines of Canada*, Hildebrand, L.P. (éd), American Society of Civil Engineers, New York, 224 p.

Dubois, J.-M.M. et Lessard, G. L., 1986. Erosion rates and causes, Northern Gulf of St-Lawrence, Québec, Canada. *Thalassas*, 4; 1; 63-70.

Environnement Canada, 2002. Canada atlantique : Sensibilisation au temps violent d'été. http://www.atl.ec.gc.ca/weather/severe/reportit_f.html

Favreau, R., 2006. Groupe automne de recherche et développement de l'Est, Site Internet consulté le 15 février 2006 : <http://ecoroute.uqcn.qc.ca/envir/mhum/index.html>.

Federici, P. R. et Rodolfi, G., 2001. Rapid shoreline retreat along the Esmeraldas coast, Ecuador: natural and man-induced processes. *Journal of Coastal Conservation* 7: 163-170.

Flageollet, J.-C. (réd.), 1994. Prévention des risques d'érosion et de submersion littoraux: la connaissance du risque, les études d'impact en vue de travaux de protection. Cours intensif européen, 19-22 mai 1992, Centre européen sur les risques géomorphologiques, Strasbourg, 187 p.

Forbes, D. L., Parkes, G. S., Manson, G. K. et Ketch, L. A., 2004. Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence. *Marine Geology*, 210; 169-204.

Fransson, N. et Garling, T., 1999. Environmental concern: Conceptual definitions, measurements, methods, and research findings. *Journal of Environmental Psychology*, 19; 369-382

French, P., 2004. The changing nature of, and approaches to, UK coastal management at the start of the twenty-first century. *The Geographical Journal*, 170; 2; 116-125.

French, P. W., 2006. Managed realignment -The developing story of a comparatively new approach to soft engineering. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67; 409-423.

Friesinger, S., 2009. Géorisques côtiers: adaptation et perceptions des communautés côtières dans le golfe du Saint-Laurent. Mémoire de maîtrise en géographie, Université du Québec à Rimouski, 168 p.

Gagnon, M., Bergeron, P., Leblanc, J. et Siron, R., 1997. Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du golfe du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs. Ministère des Pêches et des Océans - Région Laurentienne, Division des sciences de l'environnement marin, Institut Maurice-Lamontagne. Rapport technique. Zones d'intervention prioritaire 19, 20 et 21. 189 p.

- Geng, Q. et Sugi, M., 2003. Possible change of extratropical cyclone activity due to enhanced greenhouse gases and sulfate aerosols-study with a high resolution AGCM. *Journal of climate*, 16; 2262-2274.
- Goldthwait, J. W., 1915. The occurrence of glacial drift on the Magdalen Islands. Canada Department of Mines, *Museum Bulletin*, vol. 14, pp. 1-11.
- Grant, D. R., Prest, V. K., Dredge, L. A. et Mott, J. J., 1985. Lithostratigraphy and Quaternary history, Magdalen Islands. Geological Association of Canada, Program with Abstracts, vol. 10, A22.
- Gregg, C. E., Houghton, B. F., Paton, D., Swanson, D. A. et Johnston, D. M., 2004. Community preparedness for lava flows from Mauna Loa and Hualalai volcanoes, Kona, Hawai'i. *Bulletin Volcanologique*, 66; 531-540.
- Grenier, A., 1993. Évolution littorale récente et impact des structures artificielles aux Îles de la Madeleine, golfe du Saint-Laurent, Québec. Mémoire de maîtrise, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, 275 p.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2001. Bilan 2001 des changements climatiques: Les éléments scientifiques. Cambridge University Press, Cambridge, 881 p.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2007. Climate change 2007 : The physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge, 996 p.
- Groupe Mccaferri, Le revêtement GALFAN. Site Internet consulté le 2 décembre 2006 : <http://www.francemaccaferri.com/perennite.php?page=4>
- Guagano, G. A. et Markee, N., 1995. Regional differences in the sociodemographic determinants of environmental concern. *Population and Environment*, 17; 2; 135-149.
- Hale, P. B. et Greenwood, B., 1980. Storm wave climatology: A study of the magnitude and frequency of geometric process; in *The Coastline of Canada*. S.B. McCann, editor: Geological Survey of Canada, Paper 80-10; 73-88.
- Halsey, S. D., 1986. Proposed classification scale for major Northeast storms: East Coast USA, based on extent of damage. *Geological Society of America, Abstracts with Programs* (Northeastern Section), 18; 21.

Hayden, B. P. et Dolan, P., 1977. Seasonal changes in the planetary wind system and their relationship to the most severe coastal storms. *Geoscience and Man*, 18; 113-119.

Hénaff, A., Lageat, Y., Costa, S. et Plessis, E., 2002. Le recul des falaises crayeuses du Pays de Caux: détermination des processus d'érosion et quantification des rythmes d'évolution. *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement*, 2; 107-118.

Hétu, B., 1999. La Gaspésie des géographes. In Desjardins, M., Frenette, Y., Bélanger, J. et Hétu, B. *Histoire de la Gaspésie*. Québec, IQRC/PUL, p. 25-55.

Hétu, B. et Gray, J., 2002. Effects of environmental change on scree slope development throughout the postglacial period in the Chic-choc Mountain in the northern, Gaspé Peninsula, Quebec. *Geomorphology*, 32; 335-355.

Herbich, J. B., 2000. Handbook of coastal engineering. McGraw-Hill Companies, Inc. New York, pages multiples.

Hill, H. W., Kelley, J. T., Belknap, D. F., Dickson, S. M., 2004. The effects of storms and storm-generated currents on sand beaches in Southern Maine, USA. *Marine Geology*, 210; 149-168.

Howell, S. E. et Laska, S. B., 1992. The changing face of the environmental coalition: A research note. *Environment and Behavior*, 24; 134-144.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. Climate change 2001: The Scientific Basis. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 881 p.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Ives, S. M. et Furuseth, O. J., 1988. Community response to coastal erosion: the view from two North Carolina Beach Areas. *Ocean & Shoreline Management*, 11; 177-193.

Jiang, J. et Perrie W., 2007. The impacts of climate change on autumn North Atlantic midlatitudes cyclones. *Journal of climate*, 20; 1174-1187.

Jolivet, Y. et P. Bernatchez, 2005. Analyse climatique des régions côtières de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, module de Géographie, UQAR. 169 p.

Jolivet, Y. et Bernatchez, P., 2008. Analyse du climat maritime historique des régions côtières de Sept-Îles, de Percé et des Îles-de-la-Madeleine. In Bernatchez *et al.*, 2008. Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC, 256 p.

Jones, R. E. et Dunlap, R. E., 1992. The social bases of environmental concern : Have they changed over time? *Rural Sociology*, 57; 1; 28-47.

Karl, T. R., Knight R. W., Easterling, D. R. et Quayle R. G., 1996. Indices of climate change for the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77; 279-292.

Kaufman W, et Pilkey, O., 1983. The Beaches are Moving, the Drowning of America's Shoreline. Duke University Press: Durham, NC., 327 p.

Keim, B. D, Muller R. A. et Stone G. W., 2004. Spatial and temporal variability of coastal storms in the North Atlantic Basin. *Marine Geology*, 210, 7-15.

Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X. et Hegerl, G. C., 2007. Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations. *Journal of Climate*, 20; 1419-1444.

Kirkwood, D., 1989. Géologie structurale de la région de Percé, Gaspésie. Ministère de l'énergie et des ressources, Québec. Collections :ET 87-17.

Klein, R. J. T., Smit M. J., Goosen H., Hulsbergen C. H., 1998. Resilience and vulnerability: coastal dynamics or Dutch dikes? *The Geographical Journal*, 164, 259-268.

Komar, P. D., 1998. Beach Processes and Sedimentation. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, 544 p.

Koohzare, A., Vanícek, P., et Santos, M., 2006. Compilation of the map of recent vertical crustal movements in eastern Canada using GIS, *Journal of Surveying Engineering, ASCE*, 132; 4; 160-167.

Kragtwijka, N. G., Zitman, T. J., Stive, M. J. F. et Wang, Z. B., 2004. Morphological response of tidal basins to human interventions. *Coastal Engineering*, 51; 207-221.

Kunkel, K. et Andsager, K., 1999. Long-Term Trends in Extreme Precipitation Events over the Conterminous United States and Canada. *American Meteorology Society*, 12; 2515-2527.

Lachance, S., 1995. Géologie de la Gaspésie, Québec. La Direction, Ministère de l'énergie et des ressources, 1 carte sur 4 feuilles 92 X 156 cm.

Lacroix, J. et Boivin, D. J., 1991. Étude du phénomène de pluies diluviennes en tant que catastrophe naturelle; une évaluation en matière de protection civile et de vulnérabilité municipale. *Centre de Recherches en Aménagement et en Développement*, Université Laval, 13; 2; 89 p.

Lambert, S. J. 1996. Intense extratropical Northern Hemisphere winter cyclone events: 1899-1991. *Journal of Geophysical Research*. 101(D16); 21319- 21326.

Laverdière, C. et Guimont P., 1974. Un froid à sol fendre. *Geos*, 2; 18-20.

Lavoie, D., 1997. Réponse hydrodynamique de la Baie des Chaleurs au passage d'une forte tempête. Mémoire de maîtrise ES Sciences (Océanographie), Université du Québec à Rimouski, 170 p.

LDGIZC, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, 2004, 2006, 2008 et 2009.

Lemmen, D. S., Warren, F. J., Lacroix, J. et Bush E. (éditeurs), 2008. Vivre avec les changements climatiques au Canada: édition 2007, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 448 p.

Lessard, G. L. et Dubois, J.-M.M., 1984. Évolution littorale multitemporelle d'une côte récemment déglacée du nord du golfe du Saint-Laurent. *Revue de géomorphologie dynamique*, 33, pp. 81-96.

Lewis, P. J. et Morgan, M. D., 1984. Severe storms off Canada's East Coast : a catalogue summary for the period 1957 to 1983. Report no. 84-13, Canadian Climate Centre, Atmospheric Environment Service, Canadian Climate Program, 322 p.

Loreau, M, Mouquet, N. et Holt, R. D., 2003. Meta-ecosystems: a theoretical framework for a spatial ecosystem ecology. *Ecology Letters*, 6, 673-679.

Lozano, I., Devoy, R. J. N., May, W. et Anderson, U., 2004. Storminess and vulnerability along the Atlantic coastlines of Europe: Analysis of storm records and of a greenhouse gases induced climate scenario. *Marine Geology*, 210; 205-225.

Litynski, J., 1988. Climat du Québec d'après la classification numérique. Carte de format 100 x 130 cm. Éditions Gamma. Carte au 1 : 2 000 000.

MacClenahan, P., Mackenna, J., Cooper, J. A. G. et O'kane, B., 2001. Identification of highest magnitude coastal storm events over western Ireland on the basis of wind speed and duration thresholds. *International Journal of climatology*, 21; 829-842.

MATE et METL (ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement), 1997. Plans de prévention des risques littoraux (PPR): guide méthodologique. La Documentation française, Paris, 54 p.

Mather, J. R., Adams, H. et Yoshioka, G. A., 1964. Coastal storms of eastern United States. *Journal of applied meteorology*, 3; 693-706.

Mayer, R. E., Roche, Y. et Dieudonné, M., 2002. Dictionnaire des termes géographiques contemporains. Montréal, Guérin éditeur Ltée, 343 p.

Mayhew, S., 2004. A dictionary of geography. Oxford dictionary of geography 3rd ed., Oxford University Press, 543 p.

McGerrigle, H. W., 1968. L'histoire géologique de la région de Percé. Ministère des richesses naturelles du Québec, Direction générale des Mines. 34 p. Carte géologique en annexe.

McIntosh, D. H. E., 1972. Meteorological glossary. Grande-Bretagne. Meteorological Office, New York : Chemical Pub, 318 p.

Mesquita, M. D. S., Kvamstø, N. G., Sorteberg, A. et Atkinson, D. E., 2008. Climatological Properties of Summertime Extra-Tropical Storm Tracks in the Northern Hemisphere. *Tellus*, 60A; 557-569.

Meur-Férec, C., 2006. Essai inédit - De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe. HDR, Université de Nantes, France, 247 p.

Miles, M. et Huberman, A., 1994. Qualitative data analysis : an expanded sourcebook. Beverley Hills, Sage publications, 352 p.

Ministère des Ressources naturelles du Québec, photographies aériennes ; échelle 1 : 15 000.

Moign, Y., 1972. Étude dynamique d'une plage subarctique : Sept-Iles. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 303 p.

Moore, L. J et Griggs, G. B., 2002. Long-term cliff retreat and erosion hotspots along the central shores of the Monterey Bay National Marine Sanctuary. *Marine Geology*, 181; 265-283.

Morin, I., 2000. Géomorphologie et évolution du système dunaire des Îles-de-la-Madeleine. Mémoire de maîtrise. Département de Géographie, Université Laval. 137 p.

Morneau, F., Michaud, M., Lecours, F., Côté, L. et Roy, D., 2001. Étude d'impact sur l'environnement: projets de protection des berges le long de la route 132 autour de la péninsule gaspésienne, Ministère des Transports du Québec, 84 p. et annexes.

Muller, R. A. et Stone, G. W., 2001. A climatology of tropical storm and hurricane strikes to enhance vulnerability prediction for the southeast US coast. *Journal of Coastal Research*, 17; 949-956.

Myatt, L. B., Scrimshaw, M. D. et Lester, J. N., 2003a. Public perceptions and attitudes towards an established managed realignment scheme: Orplands, Essex, UK. *Journal of Environmental Management*, 68; 173-181.

Myatt, L. B., Scrimshaw, M. D., Lester, J. N., 2003b. Public perceptions and attitudes towards a forthcoming managed realignment scheme: Freiston Shore, Lincolnshire, UK. *Ocean & Coastal Management*, 46; 565-582.

O'Connor, R. E., Bard, R. J. et Fisher, A., 1999. Risk Perceptions, General Environmental Beliefs, and Willingness to Address Climate Change. *Risk Analysis*, 19; 3; 461-471.

Oh, Y. I. et Shin, E. C., 2006. Using submerged geotextile tubes in the protection of the E. Korean shore. *Journal of Coastal Engineering*, 53; 879-895.

Owens, E. H. et McCann, S. B., 1980. The coastal geomorphology of the Magdalen Islands, Québec: in *The Coastline of Canada*. S.B. McCann, editor: Geological Survey of Canada, Paper 80-10; 51-72.

Parcs Canada, 2009. Centre de ressources éducatives : La réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan. Site Internet : http://pc.gc.ca/apprendre-learn/prof/itm2-crp-trc/htm/fmingan_f.asp

Partner, B., Galli, F-L. et Hontarrede, M., 2001. *Navigation*, 49 ; 196 ; 78-89.

Paskoff, R., 2001. Le changement climatique et les espaces côtiers, l'élévation du niveau de la mer : risques et réponses. Actes du colloque d'Arles, La documentation française, Paris, 97 p.

Pepper, D. A. et Stone, G. W., 2004. Hydrodynamic and sedimentary responses to two contrasting winter storms on the inner shelf of the northern Gulf of Mexico, USA. *Marine Geology*, 210; 43-62.

Peterlin, M., Kontic, B. et Kross, B. C., 2005. Public perception of environmental pressures within the Slovene coastal zone. *Ocean & Coastal Management*, 48; 189-204.

Pierre, G., 2006. Processes and rate of retreat of the clay and sandstone sea cliffs of the northern Boulonnais (France). *Geomorphology*, 73; 64-77.

Pinto, J. G., Ulbrich, U., Leckebusch, G. C., Spanghel, T., Reyers M., et Zacharias, S., 2007. Changes in storm track and cyclone activity in three SRES ensemble experiments with the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. *Climate dynamics*. 29; 2/3; 195-210.

Prest, V. K., Terasmae, J., Matthews, J. V., et Lichti-Federovich, S., 1976. Late Quaternary history of Magdalen Islands, Québec. *Maritime Sediments*, 12; 39-59.

Ranasinghe, R., McLoughlin, R., Short, A. et Symonds, G., 2004. The Southern Oscillation Index, wave climate, and beach rotation. *Marine Geology*, 204; 273-287.

Raudsepp, M., 2001. Some socio-demographic and socio-psychological predictors of environmentalism. *Frames*, 5; 55/50; 3; 355-367.

Regnauld, H., Pirazzoli, P. A., Morvan, G. et Ruz, M-H., 2004. Impacts of storms and evolution of the coastline in western France. *Marine Geology*; 210; 325-337.

Roberge, D., 2006. Analyse des résidents, des commerçants et des intervenants publics de la région de Sept-Îles, de Percé et des Îles-de-la-Madeleine. Université du Québec à Rimouski, Ouranos, 266 p.

Roca, E., et Villares, M., 2008. Public perceptions for evaluating beach quality in urban and semi-natural environments. *Ocean & Coastal Management*, 51; 314-329.

Saffir, H. S., 1977. Design and construction requirements for hurricane resistant construction. *American Society of Civil Engineers*, Preprint Number 2830, 20 p.

Salman, A., Lombardo, S., Misdorp, R., Lucius, I., Ferreira, M. et Smallegange, M. (EuroSION), 2004. Vivre avec l'érosion, espaces et sédiments pour un développement durable. Commission européenne, 21 p.

Savard, J.-P., Bernatchez, P., Morneau, F. et Saucier, F., 2009. Vulnérabilité des communautés côtières de l'est du Québec aux impacts des changements climatiques. *La Houille blanche*, 2 : sous presse.

Savard, J.-P., Rosu, C., Gachon, P., Pacher, G. et Carrera, M., 2008. Étude des tempêtes dans le golfe du Saint-Laurent; rapport sectoriel. Dans : Étude de la vulnérabilité des communautés côtières de l'Est du Québec aux changements climatiques. Ouranos, en prép.

Schinke, H., 1993. On the Occurrence of Deep Cyclones over Europe and the North Atlantic in the Period 1930–1991, *Beitr. Phys. Atmosph.*, 66; 223–237.

Schmith, T., Kaas, E. et Li, T.-S., 1998. Northeast atlantic winter storminess 1875-1995 re-analysed. *Climate dynamics*, 14; 529-536.

Scott, D. et Willits, F. K., 1994. Environmental attitudes and behavior : a Pennsylvania survey. *Environment and Behavior*, 26; 2; 239-260.

Service hydrographique du Canada, 2008. Marées, courants et niveaux d'eau. Site Internet consulté en février 2008. <http://www.waterlevels.gc.ca/french/Canada.shtml>

Sharma, K. N. M. et Franconi, A., 1975. Région des rivières Magpie, Saint-Jean, Romaine (Grenville 1970). Rapport géologique no. 163, Québec, 73 p.

Shaw, J., Taylor, R. B., Forbes, D. L., Ruz, M.-H. et Solomon, S., 1998. Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise. *Geological Survey of Canada, Bulletin* 505, 79 p.

Simpson, R. H., 1971. A proposed scale for ranking hurricanes by intensity. *Minutes of Eighth NOAA, NWS Hurricane Conference*, Miami, Florida.

Small, C. et Nicholls R.J., 2003. A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of Coastal Research*, 19; 584-599.

Stive, M. J. F., Capobianco, M., Wang, Z. B., Ruol, P., Buijsman, M. C., 1996. Morphodynamics of a Tidal Lagoon and adjacent Coast. 8th International Biennial Conference on Physics of Estuaries and Coastal Seas, The Hague, September 1996, 397-407.

- Stone, G. W., Baozhu, L., Pepper, D. A. et Wang, P., 2004. The importance of extratropical and tropical cyclones on the short-term evolution of barrier islands along the northern Gulf of Mexico, USA. *Marine Geology*, 210; 63-78.
- Stone, G. W., Grymes, J. M., Dingler, J. R. et Pepper, D. A., 1997. Overview and significance of hurricanes on the Louisiana coast USA. *Journal of Coastal Research*, 13; 3; 656– 669.
- Storlazzi, C. D. et Griggs, G. B., 2000. The influence of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) events on the evolution of central California's shoreline. *Geological Society of America Bulletin*, 112; 2; 236-249.
- Sunamura, T., 1992. Geomorphology of rocky coasts. J. Wiley, Coastal morphology and research, Chichester, England ; Toronto, 302 p.
- Tarasov, L. et Peltier, W. R., 2004. A geophysically constrained large ensemble analysis of the deglacial history of the North American ice-sheet complex. *Quaternary Science Reviews* 2004, 23; 359-388.
- Tessier, B., 1987. Systeme de barres sableuses sur la Moyenne Cote-Nord du Saint-Laurent: formation, modification et modelisation. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, 319 p.
- Texeira, S. B., 2006. Slope mass movements on rocky sea-cliffs: A power-law distributed natural hazard on the Barlavento Coast, Algarve, Portugal. *Continental Shelf Research*, 26; 1077–1091.
- Therrien, F., Gamache, D., Messier, D., Massicotte, B. et Vézina, C., 2001. Aménagement hydroélectrique Sainte-Marguerite-3. Suivi environnemental 2000. Caractéristiques physiques et chimiques de l'estuaire durant le remplissage du réservoir Sainte-Marguerite-3. Hydro-Québec, Montréal, 154 p.
- Tobin, G. A. et Montz, B. E., 1997. Natural hazards: explanation and integration. Guilford Press, New York, 388 p
- Trenhaile, A. S., 1997. Coastal dynamics and landforms. Oxford [England]; Toronto: Clarendon Press, 366 p.
- Trzpit, J. P., 1977: Les tempêtes nord-atlantiques: essai d'analyse géographique. *Norois*, 24; 33-52.

Tunstall, S., 2000. Public perceptions of the environmental changes to the Thames Estuary in London, U.K. *Journal of Coastal Research*, 16; 2; 269-277.

Valton, A. M., 1981. Essai d'analyse des tempêtes, décennie 1960-1969. Rapport de B.Sc., Département de Géographie, Université de Sherbrooke, 95 p.

Van Liere, K. D. et Dunlap, R. E., 1981. Environmental concern - Does it make a difference how it's measured? *Environment and Behavior*, 13; 651-676.

Veillette, J. J. et Cloutier, M., 1993. Géologie des formations en surface, Gaspésie, Québec. Commission géologique du Canada, carte 1804-A, échelle :1 :250 000.

Wang, X. L., Swail V. R. et Zwiers F. W., 2006. Climatology and changes of extratropical cyclone activity : Comparison of ERA-40 with NCEP-NCAR reanalysis for 1958-2001. *Journal of climate*, 19; 3145-3166.

Wang, X. L., Swail, V. R., Zwiers, F. W., Zhang, X. et Feng, Y., 2009. Detection of external influence on trends of atmospheric storminess and northern oceans wave heights. *Climate Dynamics*, 32 ; 189-203.

Woodroffe, C. D., 2002. Coasts: forms, process and evolution. Cambridge University Press, Cambridge, 623 p.

Xu, Z., Saucier, F. J. et Lefavre, D., 2006. Water level variations in estuary and gulf of St-Lawrence. Abstract of Understanding Sea-level rise and variability workshop, June 6-9, Paris, France.

You, H., 2003. Évolution de l'aménagement côtier et son impact sur l'érosion littorale à Sept-Îles, Québec. Rapport de stage ingénieur maître de la maîtrise professionnelle de l'Institut Universitaire Professionnel Environnement Technologies et Sociétés, Université de Provence, Marseille. 34 p.

Zhang, X., Hogg, W. D. et Mekis, E., 2001. Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Precipitation Events over Canada. *Journal of climate*, 14; 1923-1936.

Zhang, X., Walsh, J., Bhatt, U. et Ikeda, M., 2004. Climatology and interannual variability of arctic cyclone activity: 1948-2002. *Journal of Climate*, 17; 2300-2317.

APPENDICE A
TABLEAUX DES ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES

Événements extrêmes tirés des archives pour la région de Sept-Îles

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1960	décembre	17	vagues de tempête	vents violents	Sept-Îles	Vents moyens de 87 km/h durant 3 heures direction: SSW	Données météorologiques: vents forts variant entre 29 et 101 km/h
1962	mars	15	vagues de tempête	vents violents	Sept-Îles	Vents moyens de 80 km/h durant 4 heures direction: N	Données météorologiques: vents forts variant entre 19 et 80 km/h
1962	automne		vagues de tempête	inondation/ submersion	Sept-Îles		Le secteur de l'avenue Arnaud était inondé pendant une grosse tempête. Par la suite, le secteur de l'hôtel Sept-Îles, du vieux-quai et l'ensemble des propriétaires de résidences construites en bordure de la Baie de Sept-Îles ont décidé de construire un mur de pierre (existe encore) (Alain Duret, ingénieur 1999).
1964	février	3	vagues de tempête	vents violents	Sept-Îles	Vents moyens de 79 km/h durant 8 heures direction: N	Données météorologiques: vents forts variant entre 39 et 80 km/h
1968	décembre	5	vagues de tempête	vents violents	Sept-Îles	Vents moyens de 84 km/h durant 6 heures direction:E	Données météorologiques: vents forts variant entre 23 et 89 km/h
1969	février	4	vagues de tempête	vents violents	Sept-Îles	Vents moyens de 80 km/h durant 4 heures direction: E	Données météorologiques: vents forts variant entre 40 et 80 km/h

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1971	janvier	27	vagues de tempête	vents violents	Sept-Îles	Vents moyens de 89 km/h durant 7 heures direction: ENE	Données météorologiques: vents forts variant entre 16 et 97 km/h
1972	février	4	vagues de tempête	vents violents	Sept-Îles	Vents moyens de 80 km/h durant 4 heures direction: NE	Données météorologiques: vents forts variant entre 16 et 82 km/h
1977	janvier	29	vagues de tempête	vents violents	Sept-Îles	Vents moyens de 81 km/h durant 5 heures direction: NE	Données météorologiques: vents forts variant entre 22 et 85 km/h
1979	mars	25 et 26	pluies diluviennes	inondations	Sept-Îles	58 mm de pluie en 24 heures	Données météo: 25/03 = 19,8 mm et 26/03 = 38,0 mm Des sous-sols ont été inondés.
1979	avril	10 et 11	pluie et neige	rafales de 100 km/h	Région de Sept-Îles	67,1 mm et 16 cm respectivement	Données météo: 10/04 = 34,9 mm + 9,3 cm = 43 mm et 11/04 = 32,2 mm + 6,7 cm = 38 mm. Inondation de certains sous-sols
1979	avril	27 au 30	pluie diluvienne	-	Sept-Îles	125,2 mm de pluie	Fermeture de la route 138 à quelques endroits.
1980	octobre	26	-	rafales à 95 km/h et inondations	Sept-Îles	-	Données météo: vents entre 11 et 67 km/h. Pannes d'électricité et inondations de sous-sols
1981	août	6 et 7	pluie abondante	inondations	Sept-Îles	58 mm	Données météo: trace et 9,8 mm. Plusieurs dommages
1983	avril	18 au 24	pluies abondantes et des températures au-dessus du point de congélation	inondations	Région de Sept-Îles	-	Données météo: 18/04 = 31,7 mm, 19/04 = 3,4 mm Plusieurs inondations.

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1983	avril	20	pluies diluviennes et la fonte des neiges	2 glissements de terrain	plage Routhier (Sept-Îles)	-	Données météo: 13 mm Estimés jusqu'à 100 000 \$ pour tuyau endommagé, pour une maison ensevelie par le sable et la boue ainsi que pour une voiture également ensevelie.
1983	avril	21	pluies diluviennes et la fonte des neiges	2 glissements de terrain	plage Routhier (Sept-Îles)	-	Données météo: 2,4 mm Des maisons étaient menacées d'inondation et la route 138 était menacée par le glissement de terrain.
1983	avril	22	pluies diluviennes et la fonte des neiges	2 glissements de terrain	plage Routhier (Sept-Îles)	-	Données météo: 1,0 mm Huit maisons ont dû être évacuées et l'affaissement s'est rendu jusqu'à 15 mètres de la route 138.
1983	avril	25	fortes pluies	la hausse du niveau d'eau de la rivière Moisie de 6 mètres au-dessus de la normale et 2 importants glissements de terrain		-	Données météo: 37,8 mm
1983	décembre	7 et 8	vagues de tempête	dérive de glaces	Sept-Îles (rue des Galets)	-	Données météo: 7/12 = entre 7 et 96 km/h.

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1983	décembre	8	vagues de tempête	-	secteur de Clarke city.	-	Données météo: vents entre 15 et 48 km/h. Plusieurs clôtures ont été endommagées et beaucoup de débris de tempête ont été charriés par les vagues et laissés sur la plage.
1983	décembre	22	vagues de tempête	glaces	Sept-Îles (rue des Galets)	-	Données météo: vents entre 7 et 46 km/h.
1986	septembre	12	pluies torrentielles	-	Région de Sept-Îles	41 mm de pluie ont tombé en 6 heures.	Données météo: 56,4 mm de pluie
1987	décembre	1er	fortes pluies	léger glissement de terrain	Sept-Îles	80 mm de pluie	Données météo: 59,8 mm de pluie. Léger glissement de terrain
1988	décembre	5	pluies	des vents (des rafales de 70 km/h.)	Région de Sept-Îles	38 mm de pluie 6 heures et 56 mm de pluie en 24 et des rafales de 70 km/h.	Données météo: 0 mm de pluie et vents entre 0 et 24 km/h
1994	l'été	-	Probablement par des pluies	glissement de terrain	rivière Sainte-Marguerite (Clarke City)	-	-
1994	octobre	2	pluies	glissement de terrain	près du barrage SM-1 rivière Sainte-Marguerite (secteur de Clarke	-	Données météo: 01/10 = 18,2 mm et 02/10 = 11,6 mm de pluie

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1994	novembre	-	vagues de tempête	hautes marées	secteur de Val-Marguerite et de la plage Monaghan (rue du ruisseau)	-	<u>Solutions apportées</u> : Mur en bois, enrochement, matelas articulé et gabions pour certaines maisons et ensemencement d'herbes naturelles à 4,8 et 5,1 m de hauteur du niveau d'eau.
1995	novembre	23	-	décrochements	Région de Sept-Îles	-	Plusieurs maisons se retrouvent à risque. Le mur de protection artisanale composé de feuilles d'acier et de pieux n'a pas protégé complètement la côte, car l'érosion est perceptible derrière le mur.
1995	décembre	10	vagues de tempête	hautes marées et grands vents allant jusqu'à 85 km/h, un peu de glaces de mer	Région de Sept-Îles	-	Données météo: vents entre 26 et 57 km/h. Plusieurs maisons se retrouvent à risque. Le mur de protection artisanale composé de feuilles d'acier et de pieux n'a pas protégé complètement la côte, car l'érosion est perceptible derrière le mur.

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1995	décembre	22 et 23	vagues de tempête	hautes marées	secteur de Val-Marguerite	-	Données météo: vents entre 19 et 46 km/h. La période des grandes marées est venue chercher une trentaine de pieds de terrain à certains endroits sur la plage(secteur Clarke) (Alain Duret, ingénieur 1999).
1996	décembre	6	vagues de tempête	pluies et glissement de terrain	Sept-îles(la rue des Sapins).	-	Données météo: 0 mm de pluie, mais le 2/12 = 57,4 mm de pluie
1996	décembre	9 au 11	vagues de tempête	hautes marées	Région de Sept-Îles		Données météo: 9/12 = 0 à 52 km/h, 10/12 = 0 à 28 km/h, 11/12 = 0 à 19 km/h. Dans la période des grandes marées, la mer est venue endommager des terrains et même des chalets sur la rue des Campeurs au secteur Clarke. L'eau est montée dans la rue de sorte que dans les semaines qui suivirent, la ville a construit une digue de pierre sur une longueur de 150 mètres pour protéger la rue des Campeurs. Une résidence a été déménagée en 1997, car elle avait été endommagée durant la tempête (Alain Duret, ingénieur 1999).

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1996	décembre	20	vagues de tempête	hautes marées	Région de Sept-Îles	-	Données météo: vents entre 9 et 46 km/h. Le secteur de la rue du Ruisseau a également subi des dommages, certains terrains ont perdu plus de vingt pieds de terrain. (Alain Duret, ingénieur 1999).
1997	janvier	10	vagues de tempête	hautes marées	Région de Sept-Îles	-	Données météo: vents entre 6 et 52 km/h. Une section du secteur de la plage Ferguson a été affectée par l'érosion, soit une partie des terrains sur la rue de la Rive. (Alain Duret, ingénieur 1999).
1998	automne		vagues de tempête	hautes marées	Région de Sept-Îles	-	Dans le secteur de plage Monaghan, la rue du Ruisseau a subi de l'érosion dans les grandes marées d'automne (Alain Duret, ingénieur 1999).
2000	octobre	28-29	vagues de tempête		Région de Sept-Îles		

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
2003	octobre	15-16	vagues de tempête	vents violents	Sept-Îles	vents de 100 km/h, vagues de 6-7 mètres	Il y avait des disparus en mer et la Garde-côtière est allée les chercher. (Nord-Est, 18 avril 2004)
2004	octobre	16	vagues de tempête	vents violents	Moisie, Sept-Îles (plages et centre-ville), Clarke-City et Gallix)	-	"À Moisie, un poteau téléphonique s'est écrasé sur une maison, dans le secteur des plages. plusieurs riverains ont vu les vagues déchaînées emporter une parcelle de leur terrain, d'autres ont vu le ruisseau englouti par les vagues et s'approcher dangereusement des habitations. À Clarke City, dans le secteur de la plage de Ste-Marguerite, la mer à gagner encore un peu de terrain, emportant avec elle certaines facilités d'accès tel des escaliers en bois et des parcelles de terrains. (Nord-Est, 24 octobre 2004)
2005	août-septembre		pluies diluviennes	glissements de terrain	Côte-Nord	-	Tronçons de la seule route (138) sectionnés à plusieurs endroits. (Ouragan Katrina) (Nord-Est, 4 septembre 2005)
2005	octobre	16	vagues de tempête		secteur de Val-Marguerite	-	Données météo: vents entre 13 et 28 km/h. La maison s'est retrouvée sur le bord d'un gouffre

Événements extrêmes tirés des archives pour la région de Percé

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1980	juillet	7	pluies diluviennes	débordement de la rivière Malbaie inondation sérieuse et éboulis dans le secteur des Falls	Bridgeville	150 mm en moins de 24 heures	Données météo: 7/07 = 10 mm, et 6/07 = 65,0 mm de pluie. Les résidences ont alors été enclavées entre la rivière et la route 132. Un éboulis dans le secteur des Falls et des problèmes d'écoulement des eaux dans la partie est du village de Percé ce sont aussi produits. Photos. Inondation du secteur Bridgeville (rivière du Portage). Quelques glissements de terrain sont signalés. Il y a eu 7 résidences affectées le long de la rivière du Portage (15 personnes évacuées). Environ 200 000\$ d'assistance financière versée. (Ministère de la Sécurité publique)
1980	octobre		vagues de tempête		Percé	-	Données météo: vents entre 0 et 48 km/h. Le quai de Percé a été endommagé.
1983	octobre	26	vagues de tempête	-	l'Anse-à-Beaufils	-	Données météo: vents entre 4 et 30 km/h. Le havre de l'Anse-à-Beaufils a été endommagé et un ouvrier aurait même été légèrement blessé. Les plus grands dommages causés par cette tempête sont survenus au havre de Ste-Thérèse-de-Gaspé.
1983	novembre	semaine du 14	vagues de tempête	-	Percé	-	Le quai de Percé a été endommagé à plusieurs endroits.

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1983	décembre	7 et 8	vagues de tempête	grandes marées, forts vents, pluie et neige	Percé et Anse-à-Beaufils	-	Données météo: 7/12 = 17 à 57 km/h et 8/12 = 15 à 33 km/h. Le quai de Percé et havre de l'Anse-à-Beaufils ont été endommagés. Les dommages créés par cette même tempête à la promenade à Percé s'élèvent entre 400,000.\$ à 500,000.\$. Grandes marées et forts vents accompagnés de pluie et de neige. Promenade endommagée. 5 résidences affectées. mur de soutènement brisé. Secteurs affectés: Village de Percé: lots 417, 418, 420-1, 432-4-6, 466-3 et 466-5; Coin du Banc: lots 619-1, 619-2, 623-1-1; Cap d'Espoir: lots 168-4 à 171-P. Au moins 472 075, 91\$ d'assistance financière versé (Ministère de la Sécurité publique). Demande d'assistance financière pour compléter des travaux d'enrochement qui étaient prévus en 1985 suite aux grandes marées des 7 et 8 décembre 1983 dans le secteur de Cap d'Espoir (lot 168-4). Assistance financière refusée. (Ministère de la Sécurité publique)
1984	avril			Inondation	Rivière du Portage		Inondation causée par la rivière du Portage. 7 résidences évacuées (Ministère de la Sécurité publique).
1986	novembre	??	érosion des berges?				Érosion de terrains. Expertise géotechnique réalisée par Technisol, novembre 1988. Expertise réalisée par Denis Thibault et ass. en janvier 1990. Pas d'assistance financière (Ministère de la Sécurité publique).
1987	novembre, décembre	30 et 1er	pluies diluviennes	vents violents	Bridgeville-Barachois		Inondation causée par la rivière du Portage, secteur de Bridgeville. Au moins 4 résidences évacuées (24 personnes) Pas d'assistance financière (Ministère de la Sécurité publique).

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1988	janvier		pluies diluviennes		Bridgeville-Barachois		Inondation causée par la rivière du Portage, secteur de Bridgeville. Au moins 4 résidences évacuées (24 personnes) Par la suite, indemnisation du MTQ et déménagement des résidences (Ministère de la Sécurité publique).
1988	octobre		pluies diluviennes		Bridgeville-Barachois		Inondation causée par la rivière du Portage, secteur de Bridgeville. Au moins 4 résidences évacuées (24 personnes) Par la suite, indemnisation du MTQ et déménagement des résidences (Ministère de la Sécurité publique).
1988	septembre		vagues de tempête		Anse-à-Beaufils		Demande d'assistance technique pour contrer l'érosion des berges: Secteur de l'Anse-à-Beaufils lots 258-6 à 267-6, rang 1 (Baie-des-Chaleurs). Expertise géotechnique réalisée par Technisol, août 1989. Expertise réalisée par Denis Thibault et ass. en janvier 1990. Pas d'assistance financière (Ministère de la Sécurité publique).
1989	septembre			glissement de terrain	Cannes de Roches		Demande d'assistance technique suite à 2 glissements de terrain le long d'un chemin privé: Michel Després, propriété sise sur le lot 579, secteur des Cannes de Roches. Assistance financière refusée. Photos au dossier. (Ministère de la Sécurité publique)
1990	mai			risque de glissement de terrain	Percé		Demande d'assistance technique pour contrer des problèmes de terrain spongieux et mal irrigué: route 132 à Saint-Georges-de-Malbaie (lot 9A-ptic). Assistance financière refusée. Photos au dossier (Ministère de la Sécurité publique).

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1992	mai		érosion des berges		Percé		Demande d'assistance technique pour contrer l'érosion des berges: route 132, St-Georges-de-Malbaie (secteur de l'Anse-du-Chien-Blanc-Baie-des-Cahleux). Expertise géotechnique du MTQ, datée de février 1993. Nouvelle expertise du MTQ le 5 octobre 2005: recommande le déplacement de la résidence. Arrêt ministériel le 9 novembre 2005. Photos au dossier. (Ministère de la Sécurité publique).
1993	avril	fin		éboulement de glace et avalanche de neige	Percé (route Des Failles)		Les murs de soutènement ont freiné l'éboulis. Le ministère des transports craint d'autres éboulements causés par la fonte des neiges et le ruissellement du printemps (Le Havre, dim. 2 mai 1993)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1994	avril	17 au 27 avril	glaces sur rivières, embâcle	inondation	Rivières: Matapédia, Bonaventure, Grandes-Cascapédia, Petite-Cascapédia, La Malbaie, Darmouth, Sainte-Anne-des-Monts, Cap-Chat		"Des dizaines de personnes ont été évacuées, des habitations et des lieux publics ont été inondés et endommagés par les glaces, des routes ont été fermées et un pont a même été sectionné. (exemple : Dimanche matin, on a sonné l'alerte et l'évacuation, une centaine de riverains du village de Matapédia s'est enclenchée. Une évaluation sommaire permet d'estimer les dégâts à 15 millions (commerces, institutions et résidences endommagés). Le secteur a été privé d'électricité et de liens téléphoniques pendant quelques heures. le coeur du village a même été coupé de la route 132. le pont qui relie les deux rives ayant été fermé en raison de l'inondation. Le pont de St-Alexis qui relie directement ce secteur à la route 132 dans la Vallée de la Matapédia a été pris d'assaut par les glaces et sectionné.)" Le Havre, dim. 24 avril 1994. Décret 607-94: Inondation du secteur de la route Vauquelin par la rivière Malbaie. Au moins 3 résidences évacuées (Ministère de la Sécurité publique).

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1995	décembre	10	vagues de tempête	Pluies, grands vents et grandes marées	Percé	-	Données météo: 30 mm de précipitations totales, 27,8 cm de neige. Dommages: la promenade qui a été détruite sur une centaine de mètres représentant des coûts approximatifs de 100 000 \$. "la Maison du pêcheur" qui se trouve près de la plage a subi des pertes s'élevant entre 50 000 \$ et 60 000.
1995	décembre	10	vagues de tempête	grandes marées	Percé		Données météo: vents entre 0 et 37 km/h. La promenade a subi des dommages d'environ une centaine de milliers de dollars et la Maison du Pêcheur a été endommagée par une vague qui a inondée le sous-sol et arrachée le mur. (Le havre, dim. 17 déc. 1995). Grandes marées qui provoquent des dommages évalués à plus de 150 000\$. Bris à la longue promenade à Percé, à un restaurant, à des embarcations de pêche et à des terrains. Rives affectées dans le secteur Anse-du-Nord et Pointe-Mont-Joli. Expertise géotachnique réalisée par Denis Thibault et ass. en janvier 1990 (Ministère de la Sécurité publique).
1996	janvier et février			inondation	route Vauquelin		Décret 177-96: Un embâcle sur la rivière Malbaie au pont de la route 132 provoque l'inondation du secteur de la route Vauquelin. Au moins 17 286,12\$ d'assistance financière versée (Ministère de la Sécurité publique).
1997	avril	2	vents de 80 km/h	poudrerie	Anse-à-Beaufils et banc de Pabos	vents de 80 km/h, 9 cm de neige à Gaspé.	Données météo: vents entre 15 et 28 km/h. La route 132 a été fermée toute la journée. Six accidents dont un avec un blessé au cours des deux jours se sont produits. Les routes étaient très glacées. (Le havre, dim 6 avril 1997)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1997	printemps			inondation	route Vauquelin et Bridgeville		Décret 1356-97: Inondation de quelques maisons dans le secteur de la route Vauquelin et Bridgeville. Assistance financière versée à deux résidents (2 434.51\$ et 301.14\$) (Ministère de la Sécurité publique).
1998	février	26-28	pluies	inondations	Rivières-au-Renard et Barachois et St-Majorique(Rivières Morris, Malbaie et Dartmouth).	190 mm de liquide	Données météo: les données sont manquantes pour 26/02 et 27/02 = 22 mm et 28/02 = 1.0 mm de pluie. Une quarantaine de sous-sols furent inondés. L'ancien record de pluie était de 112,3 mm enregistré en 1970. Un dizaine de résidences, situées sur la route Vauquelin près de barachois, avaient été isolées, jeudi et vendredi (26-27 fév.). Des routes ont été envahies par l'eau et certains ponts ont été fermés à la circulation (Le Havre, dim. 8 mars 1998). Un embâcle sur la rivière Malbaie au pont de la route 132 provoque l'inondation du secteur de la route Vauquelin et de quelques autres maisons du secteur Bridgeville. Au moins 10 résidences inondées ou isolées. Photos au dossier. Aucune demande d'assistance financière (Ministère de la Sécurité publique).
1998	septembre		érosion des berges		Perceé		Demande d'assistance pour sécuriser le secteur du Cap-à-Canon près de la maison Frederick James. Assistance refusée. (Le ministère de la Sécurité Publique)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1998	octobre et novembre	30 au 2	pluies diluviennes	glissements de terrain et inondations	Gros-Morne, Gaspé, Rivière au-Renard, Cloridorme, Grande-Vallée	Cap-madeleine=202 mm, Gaspé=127,8 mm et Cap d'Espoir=71,12 mm de pluie	<p>"Des éboulis (glissements de terrain) provoqués par les pluies diluviennes ont complètement bloqué la rte 132 à Gros-Morne et à Rivière-Madeleine. Un camion a même été entraîné jusqu'à la mer. La 132 a été envahie par des pierres, des arbres et de la boue." Ces glissements de terrain ont aussi endommagé dix poteaux d'électricité privant 536 abonnés de courant dans le secteur à l'est de l'Anse-Pleureuse. La route 197 entre Riv.-au-Renard et Gaspé a été fermée à la circulation jusqu'à lundi à la suite du bris d'un pont survenu le 30 octobre. Le pont s'est affaissé suite à la crue de la rivière au Renard. Photos dans le journal. Il y a eu plusieurs sous-sols inondés. À Riv.-au Renard, une cinquantaine de maisons et quelques commerces ont été évacués le long de la Montée Morris en raison de la crue de la rivière. Un citoyen a vu son sous-sol se faire remplir jusqu'à 5 pieds de hauteur d'eau. Sa maison est située à 50 mètres de la rivière. La rivière Dartmouth a pour sa part forcé l'évacuation de 21 maisons du secteur de Cortéreal.</p> <p>(Le Havre, dim. 8 novembre 1998)</p>
<p>Données météo: 30/10 = 73,6 mm, 31/10 = 12,6 mm, 1/11 = 11,2 mm et 3,2 cm neige, 2/11 = 15,4 mm. (suite du 30 oct. 2 nov. 1998) À grande-vallée= une douzaine de résidences ont dû être évacuées. La rue de la Rivière a été endommagée à plusieurs endroits par la crue de la Grand-Vallée et le ruisseau Langlois. À Cloridorme, plusieurs routes municipales ont été affectées par la crue des eaux. Les dommages sont évalués à un peu plus de 500 000\$. Les trois municipalité de la Côte-de-Gaspé demandent à Québec d'adopter un décret leur permettant, ainsi qu'à leurs contribuables, de recevoir une indemnisation gouvernementale. (Le Havre, dim. 8 novembre 1998)</p>							

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
2000	octobre	28-29	vagues de tempête	précipitations de neige importantes et de pluies en plus des forts vents, grandes marées	entre Percé et New Carlisle, Rivière-au-Renard	rafales à 135 km/h	Données météo: 28/10 = 6 à 22 km/h et 29/10 = 15 à 37 km/h. «les principaux dégâts sont des berges qui ont subi beaucoup d'érosion et des infrastructures municipales qui ont été touchées par cette tempête». Deux chalets récréatifs situés à Place des 14 Milles à Paspébiac ont été lourdement endommagés par les fortes vagues. À New Carlisle, la mer a érodé des berges, à Hope des infrastructures municipales ont été touchées, à Chandler, un mur de soutènement a été détruit. À Percé, la promenade a été endommagée et à Rivière-au-Renard, le tablier du quai a aussi été touché par la tempête. À Paspébiac, un projet a été mis en place afin de corriger l'érosion en remettant des tonnes de sable sur la dune, un projet qui pourrait coûter plus de 3,5 M\$. Sur la flèche de Paspébiac, deux bâtiments ont été touchés et les coûts sont estimés à environ 50 000\$. (Le Havre, dim. 26 novembre 2000). Photo du chalet rouge sur la rue de la Plage dont une bonne partie du chalet se retrouve dans le vide.(Le havre, dim 10 déc. 2000) Photo du chalet avec un peu de remblai temporaire (Le Havre, dim. 17 décembre 2000)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
2000	octobre	28-29	vagues de tempête	précipitations de neige importantes et de pluies en plus des forts vents	entre Percé et New Carlisle, Rivière-au-Renard	rafales à 135 km/h	Pêches et Océans Canada verse 1,6M\$ aux diverses administrations portuaires pour nettoyer et réparer les ports de pêche endommagés par la tempête. Les ports de Cap-Chat, Sainte-Thérèse-de-Gaspé, Port-Daniel Est, Port-Daniel (Marcil Lane), Saint-Godefroi, Shigawake, Mont-Louis Ouest, et l'Anse-à-Brillant ont fait l'objet de travaux de nettoyage et de réparations mineurs. À Gascons, une section de l'enrochement ouest s'est affaissée. À Percé, les dommages causés par la tempête au quai ont été réparé au courant des mois précédants.(Le havre, dim. 7 janv. 2001)
2000	octobre	28-29	vagues de tempête	grandes marées	Percé		Décret 557-2001: Grandes marées qui provoquent des dommages. Bris à un mur de soutènement. Érosion dans le secteur de l'Anse-du-Nord. Érosion d'une propriété. route 132. Dommages à des équipements municipaux, dont la promenade de la plage au village de Percé. Assistance financière refusée à la municipalité. Pas d'autre demande d'assistance financière (Ministère de la Sécurité publique).
2002	novembre	18	vagues de tempête	grandes marées	Percé		Demande d'assistance financière pour compenser le coût des travaux d'enrochement sur un terrain endommagé par les grandes marées. Aide financière refusée (Ministère de la Sécurité publique). Demande d'assistance financière le 2 décembre 2002 pour compenser le coût des travaux de réparation de l'enrochement situé à l'arrière d'un commerce endommagé par la tempête du 18 novembre 2002. Pas d'assistance financière (Ministère de la Sécurité publique).

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
2005	avril		pluies diluviennes	inondations	Percé	104 mm de pluies	Arrêté ministériel 05-04-26 : Des pluies torrentielles (il est tombé 104 mm) ont entraîné le débordement de rivières et de ruisseaux.. Dommages à des routes et infrastructures municipales. Aucune évacuation. Assistance financière versée : 12 314,95 \$

Événements extrêmes tirés des archives pour les Îles-de-la-Madeleine

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1963	décembre	19	vagues de tempête		IDLM (Martinique)		Destruction de l'ancien pont sur la Martinique (Havre-aux-Basques) et l'échouement du «Corfu Island» sur la Dune de l'Ouest (Grenier, 1993)
1968	janvier	début	vents	poudrerie	IDLM (Cap-aux-Meules)	vents de 132 km/h, du 1er au 25 janvier 1968, il y a eu un total de 174 cm de neige.	Bancs de 5,5 mètres de hauteur de neige (Cap-aux-Meules). Plusieurs municipalités ont été privées d'électricité pendant plus de 100 heures et des foyers ont été privés de chauffage, les camions ne pouvant assurer la livraison de l'huile. Les écoles ont dû retarder la rentrée d'une semaine. Le déblaiement des routes s'est fait directement à la mer. (Le Madelinot, 25 janvier 1968, vol.3, no. 8)
1968	octobre	21	vagues de tempête	submersion et vents	IDLM	vents de 145 km/h,	L'ouragan Gladys et ses grands vents ont arraché des toits de bâtisses, renversé certaines petites cabanes et fait couler deux bateaux affectés à la pêche aux pétoncles dans le port de Cap-aux-Meules. Les routes ont été coupées et inondées par la mer à Havre-aux-Basques et à la Pointe-aux-Loups. Il y a eu un mort (jeune homme), car il n'a pas pu contrôler sa voiture dans l'eau et le vent. Un autre mort a été déclaré sur l'Île-du-Prince-Édouard après avoir été écrasé par un arbre en chute par le vent. Une autre personne est décédée pendant l'ouragan en Nouvelle-Écosse. (Le Madelinot, 15 novembre 1968, vol. 3, no. 19)
1968	novembre	19	vagues de tempête	pluies diluviennes et vents	IDLM	vents de 64 km/h,	Les vagues atteignaient 6 mètres qui passaient par dessus le petit quai latéral de Cap-aux-Meules. (Le Madelinot, 15 décembre 1968)
1968	décembre	5	vagues de tempête	pluies diluviennes et vents	IDLM	vents de 105 km/h,	Pendant la nuit, un bateau a piqué du nez dans le petit quai latéral droit. Le petit quai s'est presque brisé en deux, entraînant des dommages assez considérables. Le bateau, quant à lui, touchait le fond durant la tempête et la chambre des machines s'est remplie d'eau. Des pluies ont accompagné l'événement. (Le Madelinot, 30 décembre 1968, vol. 3, no. 22)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1972	avril	3	vents	poudrierie	IDLM (Havre-Aubert)	vents de 129 km/h	Un toit d'une grange s'est arraché et a atterri sur une maison et un poteau électrique. Le fil électrique s'est brisé créant une panne. Les routes étaient bloquées par la grande quantité de neige qui était tombée. (Le Madelinot, 30 avril 1972, vol. 7, no. 8)
1974	octobre	20	vagues de tempête	vents	IDLM	vents de 174 km/h	La tempête a privé un grand nombre de Madelinots d'électricité, chambardé une grande quantité de bâtiments et causé des dommages énormes à quantité de pêcheurs. Treize propriétaires de bateaux de pêche accusent des pertes quasi-complètes. Le quai à l'Étang-du-Nord, le quai de l'Île d'Entrée ont été sérieusement endommagés. Un fumoir à hareng à Grande-Entrée a été renversé. Les routes de Havre-Aubert et de Pointe-aux-Loup ont dû être déblayées de déchets emportés par les vagues et les vents. Le pont de Havre-aux-Maisons a été grugé par la force des vagues nécessitant une réparation immédiate. (Le Madelinot, 31 octobre 1974, vol. 9, no. 20) (suite ci-dessous)
(suite du 20 octobre 1974) Des chalets de la Martinique ont été déplacés et en certains cas emportés par le vent. L'unité Coopérative a vu la structure de son d'un agrandissement se déplacer d'environ un pied. Le traversier Manic: un camion remorqué s'est renversé sur une auto et a endommagé une deuxième. Une maison pré-fabriquée, transportée par le traversier, a été sérieusement endommagée (Le Madelinot, 31 octobre 1974, vol. 9, no. 20)							
1978	juillet	28	vagues de tempête	vents et pluies diluviennes	IDLM	vents de 115 km/h et 120 mm de pluie	L'ouragan Blanche occasionne des dommages de plus de 2 000 000,00\$. Le toit d'un motel est emporté par le vent ; dommages à des bateaux de pêche. Une jeune fille a été tuée par la foudre (Fatima). (Le ministère de la Sécurité Publique)
1982	février	22	vent	poudrierie	IDLM		Tempête de neige de 10 jours ; panne d'électricité généralisée et résidents affectés par le manque de chauffage ; panne de téléphone coupant les liens avec l'extérieur des îles ; routes fermées (Le ministère de la Sécurité Publique).

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1984	novembre	14	vent	poudrerie	IDLM (Havre-Aubert et Cap-aux-Meules)		Pannes d'électricité causées par la neige pour ce qui est de Cap-aux-Meules et par le vent qui a détaché un fil de la ligne. Une grange a été soulevée par le vent et déposée une douzaine de pieds plus loin en la brisant. Il s'agit d'une perte d'environ de 40 000\$. (Le Radar, 21 novembre 1984)
1984	décembre		érosion par les vagues		IDLM (Cap-aux-Meules)		Le gouvernement du Canada a subventionné 300000 \$ à la firme "Coffrage Ste-Foy de l'Ancienne Lorette" pour la restauration du quai de Cap-aux-Meules (Le Radar, 9 janvier 1985)
1985	printemps		érosion par les vagues		IDLM (Old Harry)		Le gouvernement du Canada a subventionné 719000 \$ à la firme "Le Béton provincial limité" de Matane pour la restauration du quai de Old Harry en y mettant des nouveaux dolos pour contrer l'effet de l'érosion côtière (Le Radar, 19 décembre 1984)
1985	Juin		érosion par les vagues		IDLM (Cap-aux-Meules)		"Le quai des pêcheurs de Cap-aux-Meules était à chaque année rongé par les vagues qui s'engouffraient en dessous du mur extérieur et grugeaient le pavé du quai. À chaque année les travaux devaient être recommencés. On a donc décidé [...] de construire un deuxième mur [...] à l'intérieur et se rendant jusqu'au fond afin d'empêcher la vague de faire des dégâts. On a donc confié la tâche à l'entrepreneur "MEC Richard" de Havre-aux-Maisons. Les ouvriers sont au travail depuis quelques semaines. (Le Radar, 19 décembre 1984)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1986	avril-mai	semaines 15-06	glace	forts vents	IDLM (Cap-aux-Meules)		"Le port de Cap-aux-Meules et une grande partie de la Baie de Plaisance sont actuellement bloqués par des anoncellements de glace qui peuvent atteindre jusqu'à une dizaine de pieds de hauteur. Cette situation [...] a été créée par de forts vents du sud-est qui ont charrié et basculé les glaces jusque dans notre baie de Plaisance. Les navigateurs ont dû faire appel aux services de la Garde Côtière Canadienne pour leur permettre d'entrer et de sortir du port de Cap-aux-Meules. (Le Radar, sem. 15 au 21 avril 1986)"CAM toujours encerclé par les glaces. [...] De mémoire humaine, on ne se souvient pas d'avoir vu tant de glaces dans la baie de Plaisance aussi tard le printemps. (Le Radar, sem. 30 avril au 06 mai 1986)
1986	mai	sem. 21 au 27	-	ensablement	IDLM (Havre-aux-Maisons)		Il y a eu beaucoup d'ensablement dans le havre de la Pointe-Basse. L'entrée du havre a été presque complètement bouchée. Ils ont alors installé une pompe à sable, mais les travaux ont progressé lentement de sorte qu'il était hasardeux pour les pêcheurs de s'y aventurer à marée basse. (Le Radar, sem. 21 au 27 mai 1986)
1988	février	16-17	vent	poudrenie	IDLM (Fatima et Havre-aux-Maisons)	vents de 50 nœuds (ou 92,6 km/h)	"Les Îles ont été enfouies sous une tempête de neige et de vent la semaine dernière ce qui a causé des accumulations impressionnantes de cette poudre blanche. Les vents ont atteint 50 nœuds au cours de la nuit de mardi à mercredi dernier et les routes ont été totalement bloquées à certains endroits. (Le Radar, sem. 22 au 29 février 1988)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1988	mai		-	décrochement de la falaise	IDLM (Havre-Aubert)		Erosion de la falaise derrière des résidences, secteur à la Coghane. Expertise réalisée par Inspect-Sol (Québec) inc. en septembre 1988. Expertise réalisée par Denis Thibault inc. en janvier 1990. Assistance financière refusée en octobre 1988 et en août 1991 (Le ministère de la Sécurité Publique).
1988	novembre	22	vents		IDLM	vents du Nord-ouest de 35 à 50 km/h	Deux cales sèches de la Cie Joel Sheffear font naufrage au nord des îles. (Le Radar, sem. 28 novembre au 6 décembre 1988)
1989	novembre		-	Eboulis	IDLM		Une roche deboule de la falaise et atterrie dans un entrepôt. Demande d'assistance financière pour la construction d'un mur de protection et la relocalisation de son établissement. Pas d'assistance financière versée. (Le ministère de la Sécurité Publique)
1989	décembre	3 et 4	vagues de tempête	vents violents	IDLM (L'Étang-du-Nord)	forts vents du sud-ouest et les vents ont tourné pour provenir du nord-ouest. Rafales atteignant 122 km/h à l'aéroport	Des vents violents agitent la mer qui cause des dommages dans les secteurs de La Martinique (résidences secondaires, la dune, la plage, le chemin des chalets) et de Gros-Cap (destruction d'un mur de soutènement dans le secteur des Pêcherie Gros-Cap inc. et érosion). Dommages évalués à 200 000,00\$. Assistance financière refusée. (Le ministère de la Sécurité Publique)
<p>Ces vents du sud-ouest, alliés à une grosse mer, ont fait des dommages importants le long des côtes. Plusieurs plages ont littéralement disparu sous la vague et les courants. Mais les dommages les plus spectaculaires furent sans doute ceux infligés à la route 199, à la hauteur de la Martinique, sur une longueur de 500 pieds. Les abords de la route ont été rongés par les flots: tous les poteaux de la garde protectrice ont été déterrés et la grenaille fut emportée par les vagues. [.] D'autres dommages ont été enregistrés tout près de là, soit sur le chemin des chalets; la chaussée fut engloutie sous la poussée des vagues et des chalets ont été déplacés et endommagés. À Havre-aux-Maisons, tout près du pont, l'eau s'est engouffrée sur la Pointe causant des dommages importants aux édifices de l'endroit. À Cap-aux-Meules, deux enseignes lumineuses ont été emportées par le vent [..] (Le Radar, 12 décembre 1989)</p>							
<p>Au port de Cap-aux-Meules, on a dû redoubler de vigilance pour empêcher les bateaux de casser leurs amarres. Le traversier Lucy Maud avait été déménagé dans l'emplacement du CTMA Voyageur, quant au navire de la Garde Côtière, ont été obligé de l'amener dans la marina parce qu'à son port d'attache, il y avait danger que la marée et les vagues le déposent sur le quai. Aucun dommage important dans le port (Le Radar, 12 décembre 1989)</p>							

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1990	février-mars		glace		IDLM		Il y avait beaucoup de glaces autour des Îles. Le traversier avait du mal à avancer. Il est resté coincé plusieurs fois (Le Radar, 13 mars 1990)
1990	avril	10	érosion par les vagues		IDLM (Étang-du-Nord et Havre-Aubert)		"Une membrane géodésique pour protéger la route 199. [...] On continue d'apposer une membrane géodésique le long du rivage pour empêcher le gravier d'être emporté par les vagues. Cela coûtera quelque 360000\$. L'automne 1989, ils ont été cherché une somme de 75000\$ en raison du risque immédiat (Le Radar, 10 avril 1990)
1990	mai	sem. du 22	vagues de tempête		IDLM (Havre-aux-Maisons (pointe Basse) et Fatima)		"À Pointe Basse, la mer a pratiquement enseveli le port de pêche avec des tonnes de goémon et de sable. Les pêcheurs ont envoyé un message de détresse au député fédéral Darryl Gray et à Travaux Publics à Rimouski. Personne n'a répondu; aucune réaction des autorités... Les pêcheurs peuvent à peine entrer et sortir du port. À Fatima, la mer a fait un travail contraire; en effet, des tonnes de sable qui recouvraient la plage de l'Anse aux Baleiniers ont été emportées... Les vestiges du vieux port de pêche sont réapparus. Les trottoirs en bois ont été soulevés et emportés loin dans la dune; sur le sable, on ne voit que des racines d'arbres qui ont résisté à la force des flots. Des amas de ces racines se retrouvent près de la dune (Le Radar, 29 mai 1990)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1990	août	2	pluies diluviennes	inondation et glissement de terrain	IDLM		Suite aux pluies diluviennes, un glissement de terrain a entraîné des milliers de tonnes de terre sur le bord de la côte. Un roulotte a failli être emporté par le glissement de terrain. (Portage-du-Cap, Havre-Aubert). (Le Radar, 14 août 1990) L'ouragan Bertha a créé un refoulement d'égout dû aux inondations. Demande d'assistance financière. Pas d'assistance financière versée. (Le ministère de la Sécurité Publique). Le chemin des chalets à Portage-du-Cap a été inondé pendant une longue période parce que le chemin est plus bas que la plupart des terrains en bordure. Photo dans l'article. (Le Radar, 28 août 1990)
1990	novembre	11 et 12	vagues de tempête	vents violents	IDLM (L'Étang-du-Nord)		Des vents violents agitent la mer qui cause des dommages importants aux chemin municipaux situés près de la côte (chemin de la digue, chemin du Quai Fougère) et à des aménagement paysagers. Dommages évalués à 125 000,00\$. Assistance financière refusée. (Le ministère de la Sécurité Publique).
1990	décembre	16	vagues de tempête	vents violents	IDLM (Grande-Entrée)	vents de 55 nœuds (environ 100 km/h) du sud-est	Naufrage d'un chalutier "Le Nadine". Il y a eu huit victimes et deux survivants. (Le Radar, 8 janvier, 1991)
1991	juillet		-	effondrement de terrain	IDLM (Havre-Aubert)		Demande d'expertise suite à un effondrement du terrain, chemin d'en Haut. Expertise du MTQ réalisée. L'érosion des berges menace le chemin d'en Haut. Le MTQ envisage de déménager la route en 1998 ou 1999. Les 3 et 4 décembre 1997, des vents violents agitent la mer et provoquent l'érosion d'un terrain localisé dans le même secteur. (Le ministère de la Sécurité Publique)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1991	octobre	16	vagues de tempête	vents violents	IDLM (Grande-Entrée)	forts vents du sud-est	"les vagues à la sortie du chenal auraient poussé le navire sur le côté droit du chenal immobilisant le cargo dans le sable. Le navire était échoué en bordure du chenal à la Grande-Entrée. Profitant de la marée haute, un remorqueur puissant venu de Halifax a tiré le bateau échoué de sa fâcheuse position jeudi soir. Pas de dommages importants. (Le Radar, sem. 22 au 29 octobre 1991)
1991	octobre	27	vagues de tempête	vents violents et grêle et pluies	IDLM	80 nœuds (148 km/h)	"Une grosse tempête de vents, de nuages, de grêle, de pluie s'est abattue sur les îles et sur les Maritimes, débutant le dimanche 27 octobre dernier et de poursuivant toute la semaine. Alors que le transport aérien n'a été que peu perturbé par cette tempête, les activités marines et de pêches furent paralysées. Le Lucy Maud Montgomerie a dû se mettre à l'ancre au large du Bassin pendant quelques jours en attendant que le pétrolier décolle du quai de Cap-aux-Meules. Le traversier ne peut se maintenir à son quai lorsque les vents sont du nord-est et doit être amarré ailleurs dans le port." (Le Radar, 5 novembre 1991)
1992	avril-mai	27 au 11	glaces		IDLM		Année exceptionnelle de glaces! Les glaces entourent les Îles-de-la-Madeleine comme un cordon de sécurité, empêchant les bateaux de pêche de sortir des havres pour aller tendre leurs équipements sur les fonds. Ainsi, les pêcheurs de crabe sont en retard de plus d'un mois maintenant et ils craignent qu'il leur manque le temps nécessaire pour capturer leurs quotas de crabe. Mardi cette semaine, le comité des glaces pour les pêcheurs de homard doit décider de reporter ou non le début de cette pêche du 11 au 18 mai. Il est fort probable qu'ils devront la reporter: ce qui aura pour conséquence de manquer la prime sur les marchés de Montréal et de Boston. Une entente a été signée entre l'Office des Pêcheurs de Homards et le regroupement des producteurs (AQIP) déterminant les règles de la mise en marché de ce crustacé pour 1992. (Le Radar, sem. 4 au 11 mai 1992)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1992	novembre	16-23	-	-	IDLM (Havre-aux-Maisons)		"D'importants travaux de réfection sont présentement en cours à Pointe Basse dans le but de refaire les deux quais. Travaux qui s'imposent vu l'état lamentable et non sécuritaire des quais en question. Le ministère des transports du Québec a décidé de devancer de deux ans les travaux de construction d'un mur de protection sur la route 199 à Havre-aux-Maisons, sur le chemin de la Pointe" (Le Radar, sem. 16 au 23 nov. 1992)
1994	novembre	7 au 8	vents violents	-	IDLM	rafales de 168 km/h, rafales régulières entre 130 et 140 km/h	"Les dommages causés par cette tempête furent minimes: une panne d'électricité majeure qui dura trois heures, 4 lampadaires déracinés à Fatima, une maisonnette renversée à Grand Ruisseau, des arbres déracinés à Fatima, un arbre dans le chemin 66, et des dizaines de boîtes à déchets transportés hors de leur site à Havre-aux-Maisons. Le Lucy Maud Montgomery est demeuré attaché au quai mardi et mercredi. La tempête [...] aura duré une semaine." (Le Radar, sem. 11 au 17 novembre 1994)
1997	avril	1 au 4	vents violents	poudrerie	IDLM	rafales de 100 km/h et précipitations de 45 cm	"Les vents soufflèrent avec une telle intensité qu'à la fin de la tempête, c'est seulement une dizaine de cm qui demeurèrent sur le sol. C'est durant cette tempête que, dans la nuit de mercredi à jeudi (2-3 avril), une quinzaine de personnes connurent une nuit blanche sur le chemin de la Pointe à Havre-aux-Maisons. Ces personnes ont dû attendre patiemment à l'intérieur de leur véhicule, entre 23h30 et 6h30, que Transports Québec leur ouvre la route. Cette tempête démontra les lacunes des équipements de déneigement de Transports Québec qui causèrent la paralysie de la circulation à la Pointe." (Le Radar, 4 avril 1997 et Le Radar, sem. 16 au 22 janvier 1998)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
1998	mai	10	érosion par les vagues	-	IDLM (Belle-Anse)	Le Radar, sem. 15 au 21 mai 1998	<p>"Cet homme, [...] fut pris au milieu d'une descente de terrain qui a rongé une partie importante du belvédère où se rassemblent habituellement les touristes les soirs d'été. Se promenant en bordure de la clôture, l'homme a senti soudainement la terre se dérober sous ses pieds et il s'est enfoncé jusqu'en dessous des bras dans le trou béant qui laissait apparaître l'eau de la mer vingt mètres plus bas [...] Des milliers de tonnes de grès rouge se sont effondrés dans la mer laissant à la surface un trou béant qui a emporté une partie de la clôture de sécurité et qui a failli emmener dans sa chute la terrasse en bois. [...] On a invité des représentants du min. de l'Environnement du Qc. à visiter les lieux et donner leur opinion sur un projet de dépôt de dolosses aux pieds des falaises pour briser les vagues. L'hiver 98 aura été particulièrement rude pour les falaises qui, en l'absence des glaces protectrices, ont dû subir l'assaut constant des vagues puissantes qui les ont grugé comme jamais auparavant, constate le maire Chevarie."</p>
2000	octobre	28 et 29	vagues de tempête	pluies diluviennes, vents et hautes marées	IDLM	rafales de 120 km, vent NE, 60 mm de pluie et environ 1 mètre de surcote	<p>"Des centaines d'arbres ont été déracinés, des roulottes ont été renversées, cassées en deux, des toits de maison ont été endommagés ou enlevés des chemins ont été inondés par les vagues et jonchés de roches et de sable, d'autres ont été grugés ou emportés (à la Grave), des dunes de sable ont été envahies par la mer creusant des trous béants" (suite page suivante)</p>
<p>(suite octobre 2000) La route 199 a été inondée à la hauteur de Fatima, juste avant le pont du Havre-aux-Maisons. Entre le pont des Étroits et Pointe-aux-Loups, la route 199 a été grugée par les vagues (accotement et un peu la chaussée). Les dommages les plus importants: Havre-Aubert, route entre les Artisans du sable et magasin Hébert qui est en réparation. C'était la 2ième fois en 2 semaines que les constructions subissaient l'attaque des vagues.</p>							

(suite octobre 2000) La roulotte des travailleurs a été renversée avec le matériel à l'intérieur (ordi., téléphones, etc). Le chemin de la Martinique fut inondé complètement et certains chalets ont été déplacés de leur base. Plusieurs pannes d'électricité, 30 heures de retard pour le traversier (Le Madeleine). À la Pointe Basse, la Pointe et Havre-aux-Maisons, des bateaux ont été démenagés car leur base avait été envahie et déstabilisée par l'eau. Le réseau internet a été interrompu ainsi que le câble (télévision). La radio communautaire qui devait être le lien entre la Sécurité civile et la population a été paralysée par une panne d'électricité. La radio n'était pas sur la liste des priorités d'H-Q, si elle y avait été, H-Q serait intervenu plutôt. (Le Radar, semaine 3 nov. au 9 nov. 2000, vol.31, no.10). Le gouvernement du Canada a mis 1.4 millions \$ pour la réparation et le nettoyage des ports de pêche. Ce sont les ports de Grosse-Île, de Havre-Aubert, de l'Île d'Entrée et du Cap-Vert (Fatima) qui ont reçu l'attention de Pêches et Océans. (Le Radar, 15 nov. au 21 nov. 2002)

(Suite octobre 2000) Le port de Grosse-Île a subi des dommages à l'encaissement en bois situé à l'extrémité du brise-lames, celui de Havre-Aubert a subi des dommages à l'enrochement, au parc d'hivernage, au brise-lames et au lambris du quai. À l'Île d'Entrée, la cage de halage a été endommagée et réparée au printemps suivant. Il y a également eu de l'ensablement à quelques endroits causé par la tempête: Île d'Entrée, Pointe-Basse et Millerand. Le dragage de ces ports s'est également effectué, probablement au début du printemps 2001. (Le Radar, semaine du 5 janv. au 11 janv. 2001 et Le Radar, 23 au 29 mars 2001). De plus, la Sécurité publique donne 11 150\$ pour couvrir les frais encourus relativement aux dommages causés sur la route et les environs du chemin des chalets à l'Étang-du-Nord. (Le Radar, 15 nov. au 21 nov. 2002) Décret 557-2001 : Des vents de plus de 100km/h, deux marées hautes et plus de 50 mm de pluie s'abattent sur les Îles-de-la-Madeleine. Des routes ont été endommagées. Plusieurs résidences ont été temporairement isolées. Des chalets ainsi que la route municipale (secteur de La Martinique) ont subi de l'érosion. Les communications téléphoniques ont été perturbées. (Le ministère de la Sécurité Publique).

2001	mai	10 et 11	pluies diluviennes	inondations et vents violents	IDLM	90 mm de pluie en 12 heures	Plusieurs maisons et commerces ont été inondés. Deux pieds et demi d'eau couvrait un des sous-sols. Des tronçons de route étaient aussi inondés. À Cap-aux-Meules, l'eau ne pouvait s'écouler vers le port, car le tuyau était bloqué par des roches à la sortie de la conduite. Tous les ruisseaux ont débordés causant des dommages aux résidences, routes et commerces. Il y a eu fermeture du chemin Mountain à Havre-Aubert. (Le Radar, 18 mai au 24 mai 2001) Décret 1192-2001 : Plus de 90 millimètres de pluies s'abattent sur les Îles-de-la-Madeleine en l'espace de 12 heures. De nombreux sous-sols de résidences sont inondés. Les fondations de certaines d'entre elles sont endommagées. (Le ministère de la Sécurité Publique)
2001	novembre	7	vents	pluies	IDLM (Fatima)	rafale de 115 km/h et 35,4 mm de pluie	À la suite de deux ouragans (Michelle et Noel) une structure abritant le bateau de Monsieur Robert Bourgeois a été complètement détruite.
2002	janvier	22	vents	poudrière	IDLM	vents jusqu'à 60 km/h	Fermeture des écoles, du collège et des commerces

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
2002	avril		-	glissement de terrain	IDLM (Havre-Aubert)		Arrête ministériel 2005-05-10 : Une résidence sise chemin Bassin, s'enfonce. Des fissures apparaissent dans les fondations et le revêtement extérieur. Les planchers et les murs sont bombés. Des crevasses de profondeurs variables (jusqu'à un mètre dans certains cas) apparaissent aussi sur le terrain. Avis technique réalisé par le ministère des Transports en juin 2002. Mise en œuvre du Programme d'aide financière relatif à l'imminence de mouvement de sol. Résidence vendue et démenagée. (Coordonnées : 577 748 E, 5 229 440 N, UTM 21). (Le ministère de la Sécurité Publique). (suite ci-dessous)
(suite de Avril 2002) Accélération du phénomène derrière des résidences sises route 199. Glissements importants du talus. Apparition de failles en parallèle et perpendiculaires au talus. Avis technique réalisé par le ministère des Transports en juin 2003. Nouveau décrochement de talus en janvier 2006. (Coordonnées : 585 476 E, 5 232 153 N, UTM 21). En attente d'une nouvelle expertise. (Le ministère de la Sécurité Publique).							
2002	septembre	10, 11 et 12	vents	vagues de tempêtes et pluies	IDLM (Fatima)	vents jusqu'à 104 km/h, vents de 100 à 110 km/h et 55 mm de pluie	La tempête a été causée par la queue de l'ouragan Gustav. Quelques arbres ont été déracinés et il y a eu un peu de bris au réseau de distribution d'H-Q. 2 ailes de la marina à Cap-aux-Meules se sont arrachées, laissant ainsi les embarcations s'entrechoquer, sans dégât important. (Le Radar, 20 septembre au 26 sept. 2002) Des vents atteignant des vitesses de 100 à 110 kilomètres soufflent sur les Îles-de-la-Madeleine durant 2 jours. Plus de 55 millimètres de pluies s'abattent aussi sur le territoire. Demande d'aide financière refusée à une citoyenne de Fatima. (Le ministère de la Sécurité Publique).
2002	octobre	27, 28 et 29	vagues de tempêtes	vents	IDLM		Il y avait d'énormes vagues dans la Baie de Plaisance. Des dizaines de bacs ont été renversés le long des routes. (Le Radar, 1 nov. Au 7 nov. 2002)

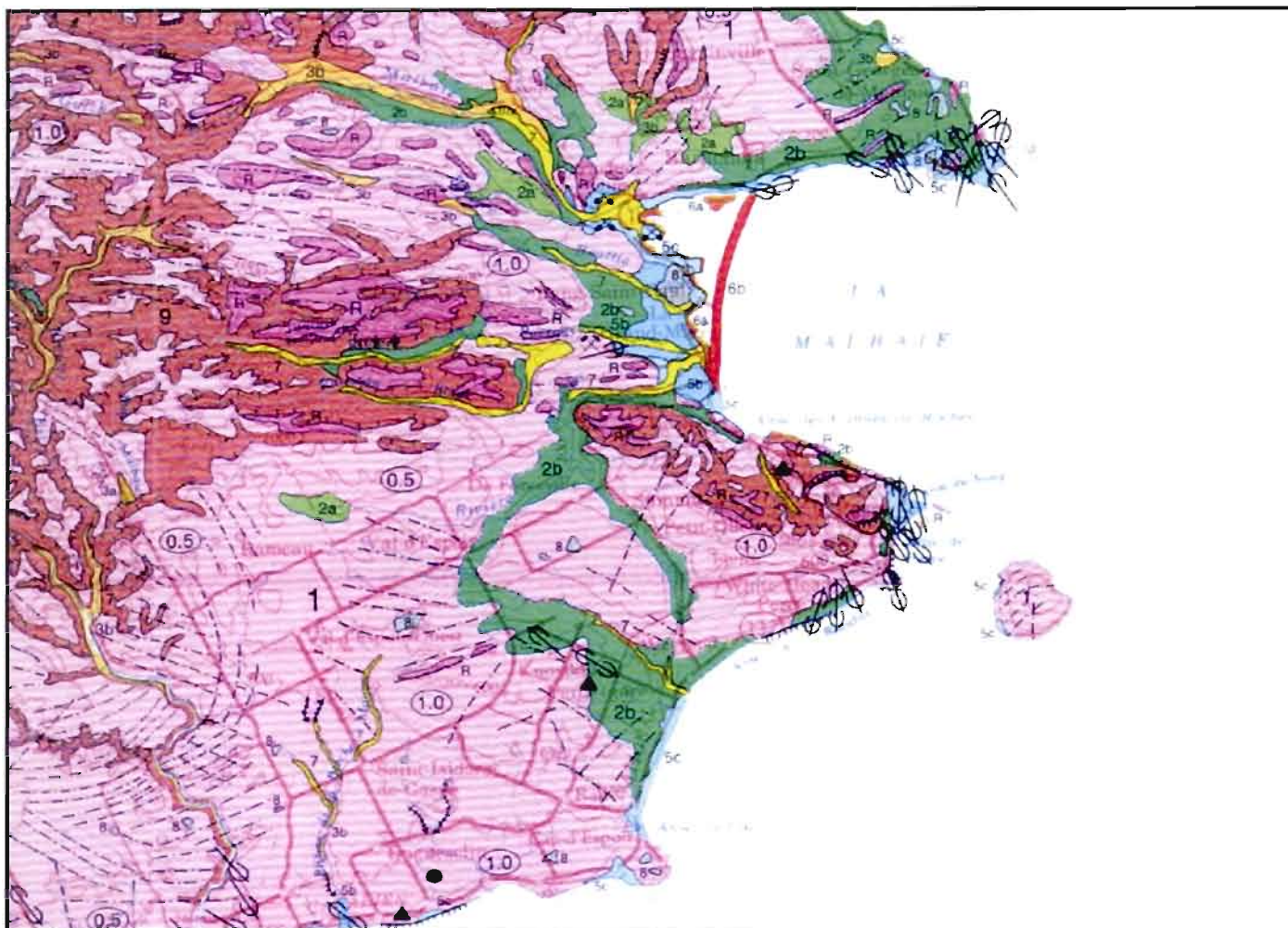
Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
2002	novembre	à peu près le 18 (pas certaine)	vagues de tempêtes	vents	IDLM	vents de 85 km/h et rafales de 115 km/h	"L'Éléphant" (piliers en forme d'éléphant) du Gros-Cap a été détruit par la force des vagues. (Le Radar, 22 nov. au 28 nov. 2002). Les vagues ont aussi grugées des butteaux de sable protégeant la route entre la Martinique et le début du Havre-aux-Basques. L'érosion s'est fait directement à côté du remblai (Le Radar, 29 nov. au 5 déc. 2002)
2002	novembre	23-24	vagues de tempêtes	vents	IDLM (Fatima et Martinique)	vents de 40 km/h à 100 km/h et des rafales de plus de 100 km/h	Les vents ont réussi à soulever une partie de la toiture de l'école de Stella-Maris de Fatima. Il s'agit de réparations totalisant entre 60 000\$ et 100 000\$. À Lavernière, le vent a renversé un feu de circulation et la dune entre la Martinique et le début du Havre-aux-Basques s'est fait grugée. Une pancarte d'interdiction de pêche aux mollusques a été déracinée de son support de sable. (Le Radar, 29 nov. au 5 déc. 2002)
2003	avril	23	gel-dégel	glissement de terrain	IDLM (Île d'Entrée)		Des masses de boue se sont détachées d'une colline dans le secteur de Big Hill. Cette coulée de boue s'est arrêtée à environ 1 000 mètres des résidences. Selon Pierre Dorval, ingénieur au ministère des Transports, il s'agit d'un décrochement de surface. Ce phénomène, se produisant principalement au printemps, est principalement dû à la période de gel-dégel. (Le ministère de la Sécurité Publique)
2003	avril		-	effondrement de terrain	IDLM (Cap-aux-Meules)		Décrochements de talus le long du Chemin du Cap-de-l'Hôpital. Il s'agit d'une route municipale. Elle ne conduit toutefois à aucune résidence. Aucune aide financière demandée. (Le ministère de la Sécurité Publique)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
2003	avril		-	effondrement de terrain	IDLM (Havre-aux-Maisons)		Chemin des Echoueries. La municipalité a dû reconfigurer cette route municipale en raison de l'érosion des berges. La route est très fréquentée par les touristes. Les résidences principales situées de part et d'autre de cette route demeurent toutefois accessibles par d'autres voies de circulation. Aucune aide financière accordée. (Position : 592 743 est, 5 249 422, nord, UTM 21) (Le ministère de la Sécurité Publique).
2004	février	19	vents	poudrerie	IDLM	rafale de 108 km/h	La fermeture totale des routes a été déclarée par Transport Québec, à l'exception de la route 199 à Cap-aux-Meules. Trois véhicules du MTQ et 4 personnes ont été coincés sur la Pointe de Havre-aux-Maisons. Une ambulance est restée prise parce qu'il y avait deux véhicules qui s'étaient enlisés malgré l'interdiction de circuler sur les routes fermées. Il a donc fallu qu'une autre ambulance soit appelée pour répondre à l'urgence. (Le Radar, 27 fév. au 4 mars 2004).
2004	février	26 et 27	vents	poudrerie	IDLM	-	Les écoles ont dû fermer leurs portes. Il y a eu un carambolage impliquant 9 véhicules. "À peine quelques heures après le début de la tempête, la machinerie ne pouvait presque plus entretenir la route en raison de l'accumulation rapide de neige". S'il y avait eu une urgence, les circonstances auraient pu être très dangereuses. (Le Radar, 5 mars au 11 mars 2004).
2004	mai	8	vagues de tempête	vents	IDLM	vents jusqu'à 74 km/h provenant de l'ouest	Les pêcheurs de homard sont sortis malgré la tempête et l'état pitoyable de quelques quais (e.g. celui de Old Harry). Il y a eu plusieurs blessures et accidents : bras ou jambes cassés, des bris de vitre au niveau de la cabine et plus grave encore, des pêcheurs se sont retrouvés à l'eau. (Le Radar, 14 mai au 20 mai 2004)

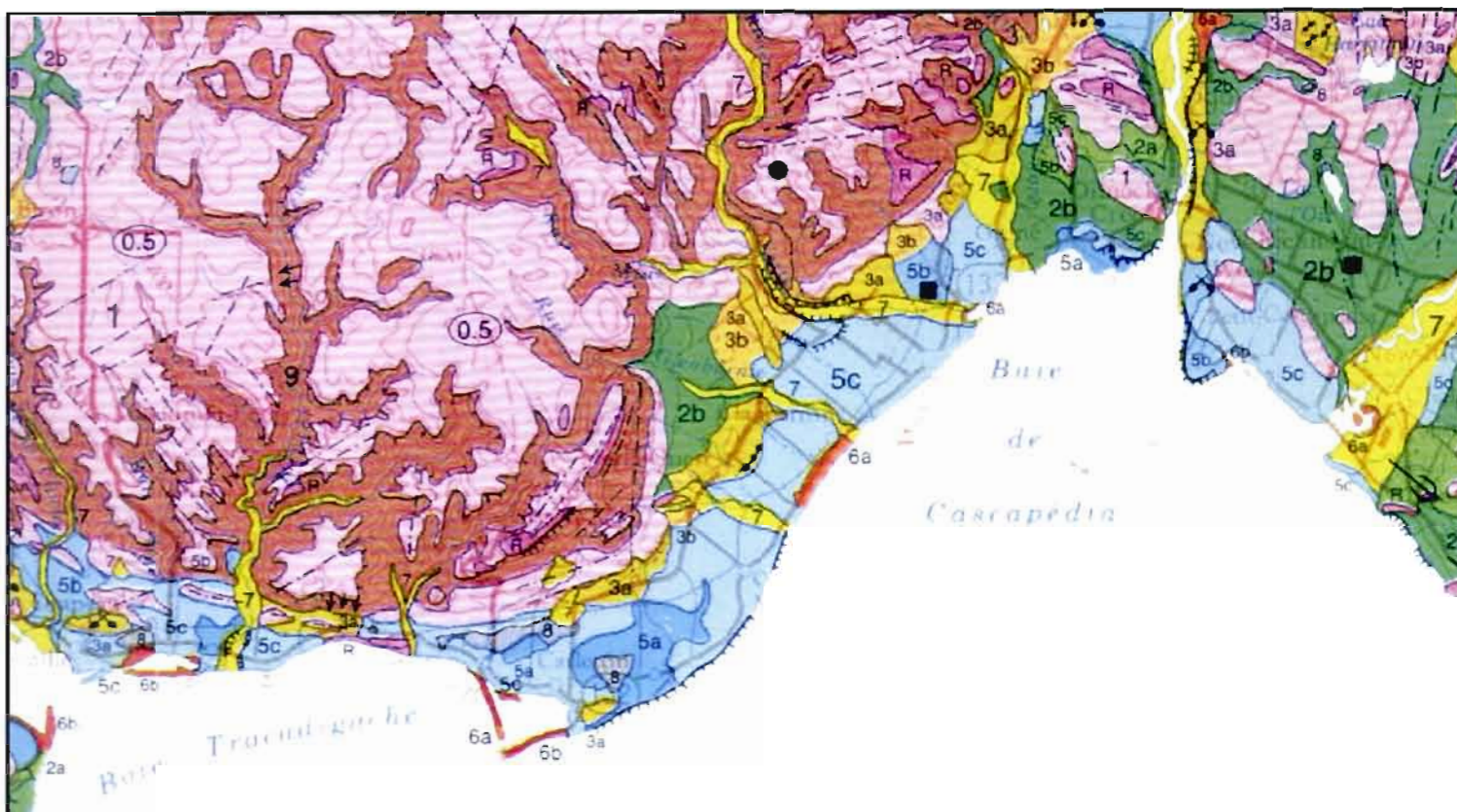
Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
2005	janvier	10 et 11	vents	poudrerie	IDLM	vents jusqu'à 90 km/h en direction nord-est et 45 cm de neige accumulés	Les conditions de conduite étaient très difficiles et la visibilité étaient réduite à nulle, selon les endroits, à cause de la poudrerie. La plupart des commerces, écoles, organismes et bureaux gouvernementaux ont fermé leurs portes. (Le Radar, 21 janv. au 27 janv. 2005)
2005	septembre	29 et 30	vents		IDLM	vents de 60 km/hr et rafales de 110 km/h	"Une douzaine de poteaux d'électricité ont été brisés, projetant 5 transformateurs au sol et laissant quelque 325 abonnés d'hydro-Québec sans électricité. La situation a nécessité le transfert de Montréal de 6 monteuses de lignes supplémentaires pour aider au rétablissement du réseau et au nettoyage du déversement d'huile provenant de 4 transformateurs projetés au sol à certains endroits. Mais dès vendredi après-midi (30 sept.), 34 à 35 mètres cubes de sol avaient été excavés et entreposés à la centrale pour y subir des analyses puis ensuite être expédiés à l'extérieur pour être traités" (Le Radar, 7 oct. au 13 oct. 2005) suite..
(Suite sept. 2005) Il y a eu des fenêtres en éclats, le bardeau d'une toiture d'un cabanon arraché, un autre a été complètement détruit. Fithwheels renversés et des arbres déracinés. Une surface d'environ 20 pieds par 25 pieds, du côté Est de la COOP du Havre-aux-Maisons a été arrachée, éventrant les bureaux administratifs. (Le Radar, 7 oct. au 13 oct. 2005). Selon Environnement Canada, ce phénomène était une tornade. Elle a traversé une partie du village de Havre-aux-Maisons dans la nuit du 29 au 30 sept. Elle était de F2 sur l'échelle Fujita qui s'accompagne habituellement de vents entre 180 km/h et 250 km/h. Elle aurait pris naissance sur la mer pour prendre terre à la carrière ou plus à l'arrière du Vieux Couvent pour ensuite se diriger vers le Cap-Rouge. (Le Radar, 21 oct. au 27 oct 2005)							
(suite sept 2005) Des vents du Sud-Sud-est, avec une vitesse de modérés à forts ont été enregistrés en soirée. Avant 2h du matin, les vents ont tourné au Sud-Ouest et ont augmenté considérablement. "Le vent, soufflant en rafale, n'était pas de force égale partout" et a engendré un cisaillement et a formé un tourbillon=tornade. (Le Radar, 21 oct. au 27 oct 2005)							
2005	octobre	15	vagues de tempête	Grandes marées	IDLM (Cap-aux-Meules)		Une des unités d'un motel, Chemin Gros-Cap, se retrouve à quelques centimètres seulement d'un talus d'une hauteur de trois mètres. La tempête a emporté près de 7 mètres de terrain. La résidence voisine est aussi menacée par d'éventuelles grandes marées. La municipalité a demandé un avis technique. Danger imminent selon la Direction de gestion des risques. Avis en préparation. (Coordonnées : 584 879 E. 5 244 962 N. UTM 21) (Le ministère de la Sécurité Publique)

Année	mois	jours	phénomène principal	phénomène secondaire	endroit	données météo dans les archives	dommages et remarques
2006	février	17-18	vent		IDLM	vents de près de 100 km/h	Quelques poubelles et bacs de recyclages ont été renversés et un poteau de feux de circulation à Cap-aux-Meules a été jeté au sol. (Le Radar, 24 fév. au 2 mars 2006)
2006	hiver-printemps	-	vagues de tempêtes	pluies, redoux hivernaux, décrochement et glissements de terrain	IDLM (Havre-aux-Maisons => chemin des Échouries)	-	Le chemin des Échouries à Havre-aux-Maisons a dû être fermé à cause de l'érosion qui mettait à risque les véhicules et leurs passagers. Le maire suggère donc de transformer la route en sentier pédestre. (Le Radar, 28 avril au 4 mai 2006)
2007	janvier	28	vagues de tempête	grands vents et absence de glaces	IDLM (Pointe-aux-Loups)		"L'effet composé de l'absence des glaces et les grands vents exceptionnels [...] drainent vers la mer une grande partie du littoral de sable des îles [...] À environ 2 km à l'est de Pointe-aux-Loups [...] le chemin semble plus que vulnérable (route 199 et poteaux de transfert d'électricité)

APPENDICE B
GÉOLOGIE STRUCTURALE ET FORMATIONS DE SURFACE DES RÉGIONS
D'ÉTUDE.



1. Géologie des formations de surface de la région de Percé (Veillette et Cloutier, 1993).



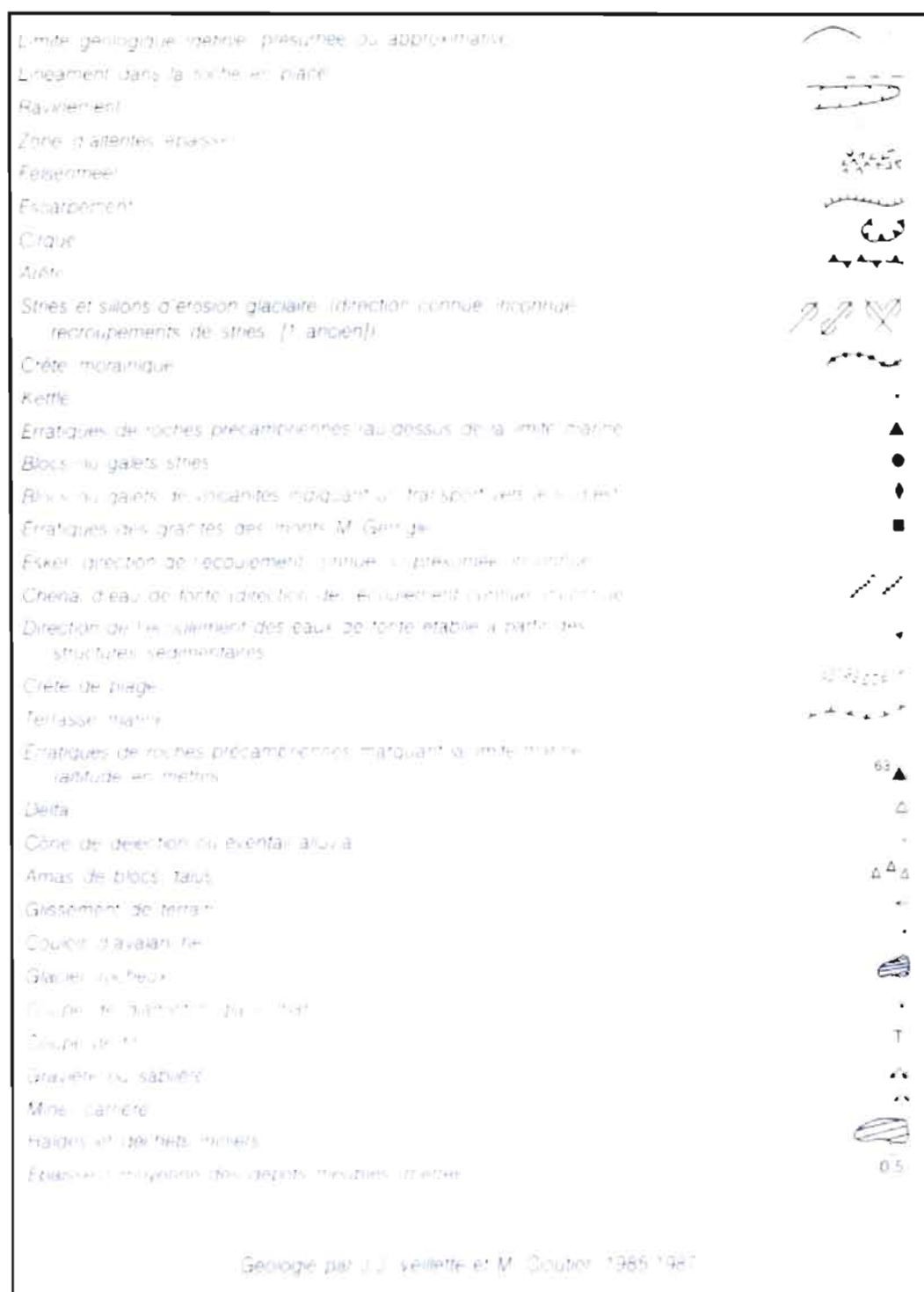
2a. Géologie des formations de surface de la baie des Chaleurs (Veillette et Cloutier, 1993).



2b. Légende de la carte de la géologie des formations de surface (Veillette et Cloutier, 1993).

ENVIRONNEMENTS GLACIAIRE ET PROGLACIAIRE	
	DÉPÔTS GLACIOLACUSTRES : argile, silt, sable et gravier généralement stratifiés, sédiments à grain fin à très fin, mis en place en milieu proglaciaire.
	DÉPÔTS FLUVIOGLACIAIRES : sédiments stratifiés mis en place au contact ou à proximité du glacier.
	Sédiments deltaïques : sable, gravier et blocs, de 1 à 10 m d'épaisseur, deltas.
	Sédiments de plaine d'épandage : sable et gravier de 1 à 30 m d'épaisseur, terrasses.
	Sédiments de contact glaciaire : gravier, sable, blocs de 1 à 15 m d'épaisseur, comprennent les eskers, certaines moraines et les kames.
	DÉPÔTS GLACIAIRES : till et diamicton à matrice sablo-silteuse, la matrice est généralement carbonatée et de composition monogénique à polygénique et contient généralement des galets striés, de 1 à 20 m d'épaisseur.
	Couverture généralement continue d'épaisseur moyenne de 1 m ou plus.
	2a Couverture discontinue d'épaisseur moyenne inférieure à 0,5.
QUATERNAIRE ET PRE-QUATERNAIRE	
	MANTEAU RESIDUEL : fragments rocheux anguleux, par endroits fins, dans une matrice sablo-silt-argileuse, et altérées provenant du substrat rocheux sous-jacent; ce dépôt est caractéristique des hauts plateaux et des sommets élevés, les erratiques glaciaires reposent généralement à la surface du manteau et sont rares aux endroits élevés, de 0,2 à 2 m d'épaisseur, plus épais par endroits.
	ROCHE EN PLACE : roche nue à couverture mince de dépôts meubles (moins de 0,2 m) d'âge cambrien, ordovicien, silurien, dévonien, carbonifère et permien.

2c. Légende de la carte de la géologie des formations de surface (Veillette et Cloutier, 1993).



2d. Légende de la carte de la géologie des formations de surface (Veillette et Cloutier, 1993).

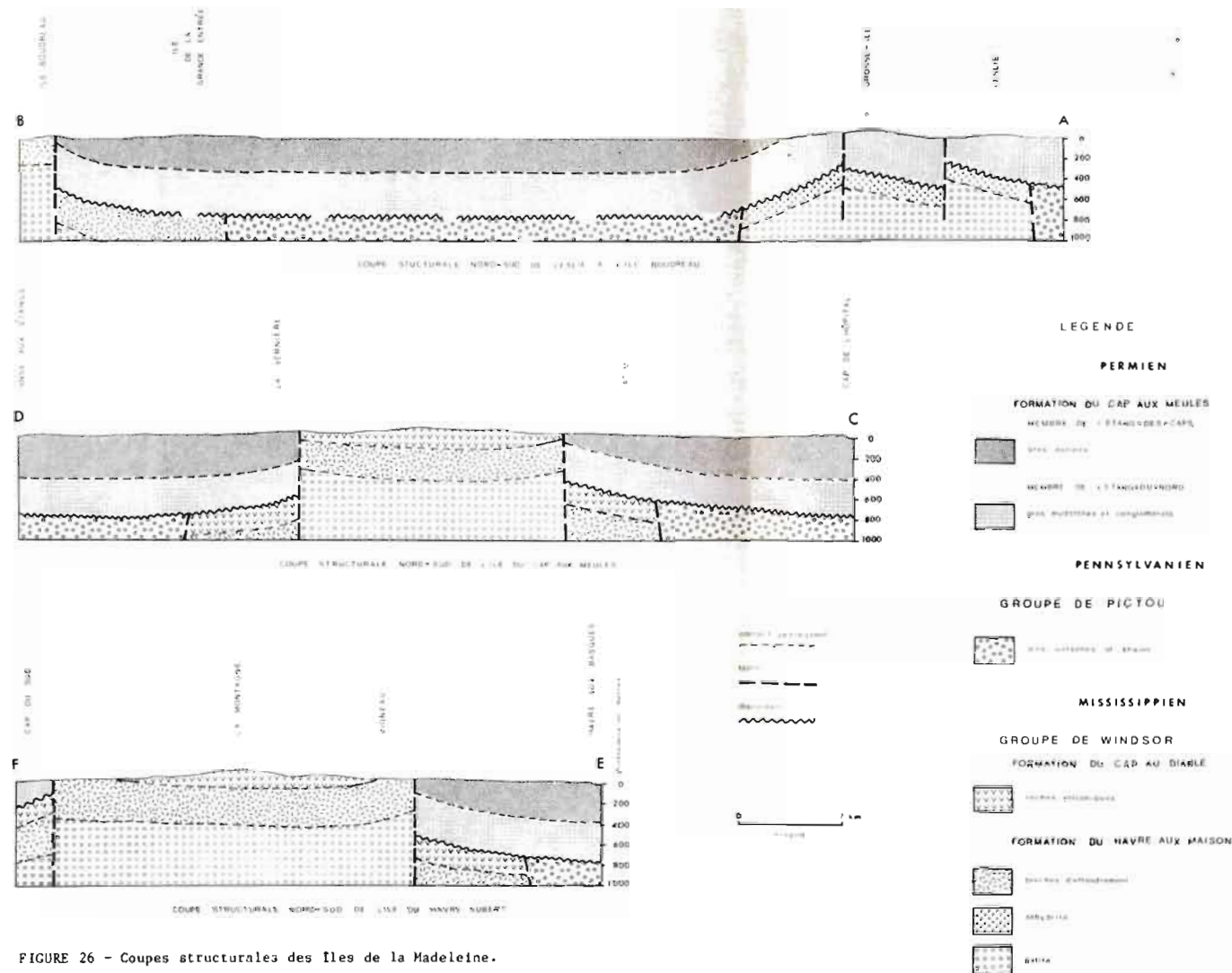
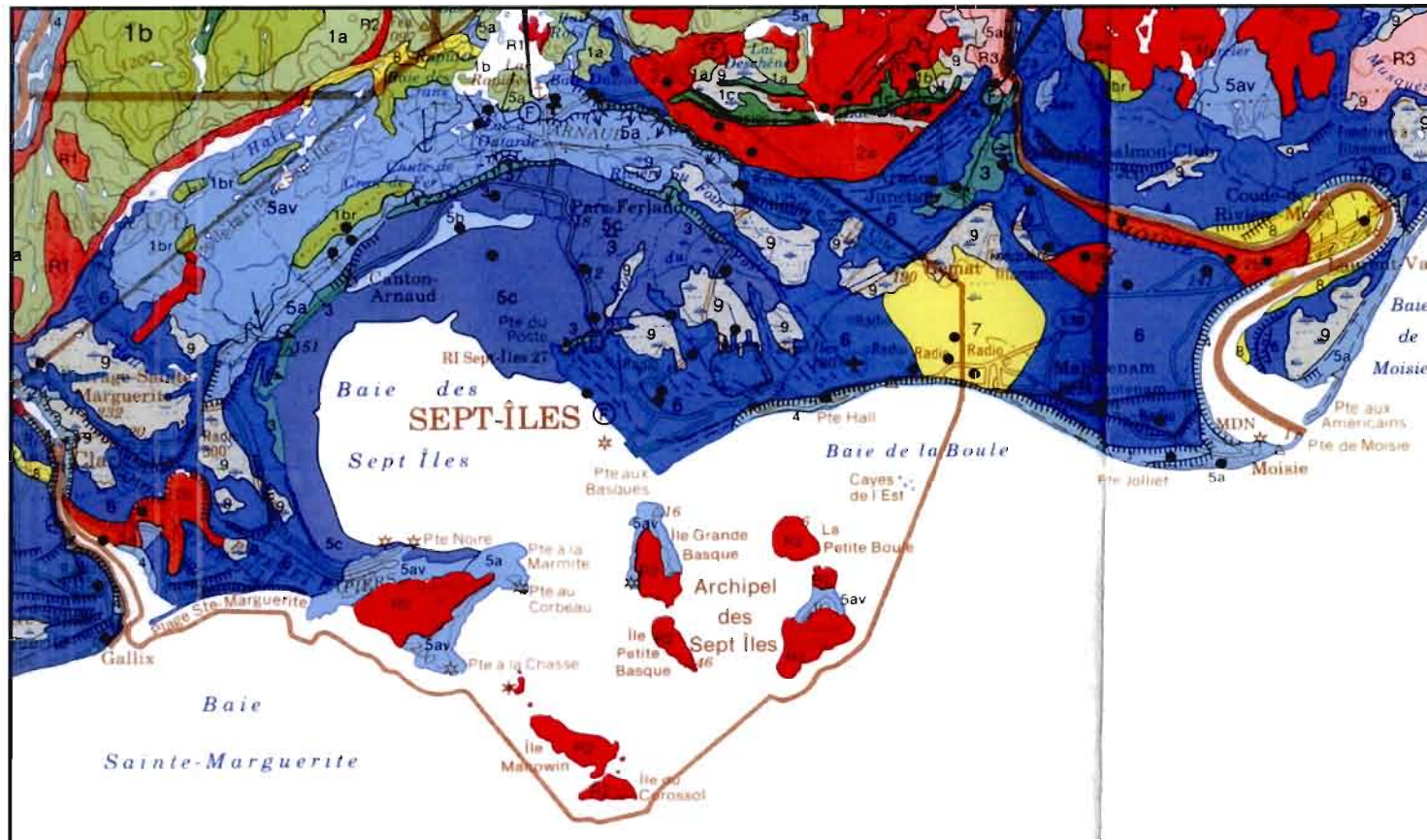
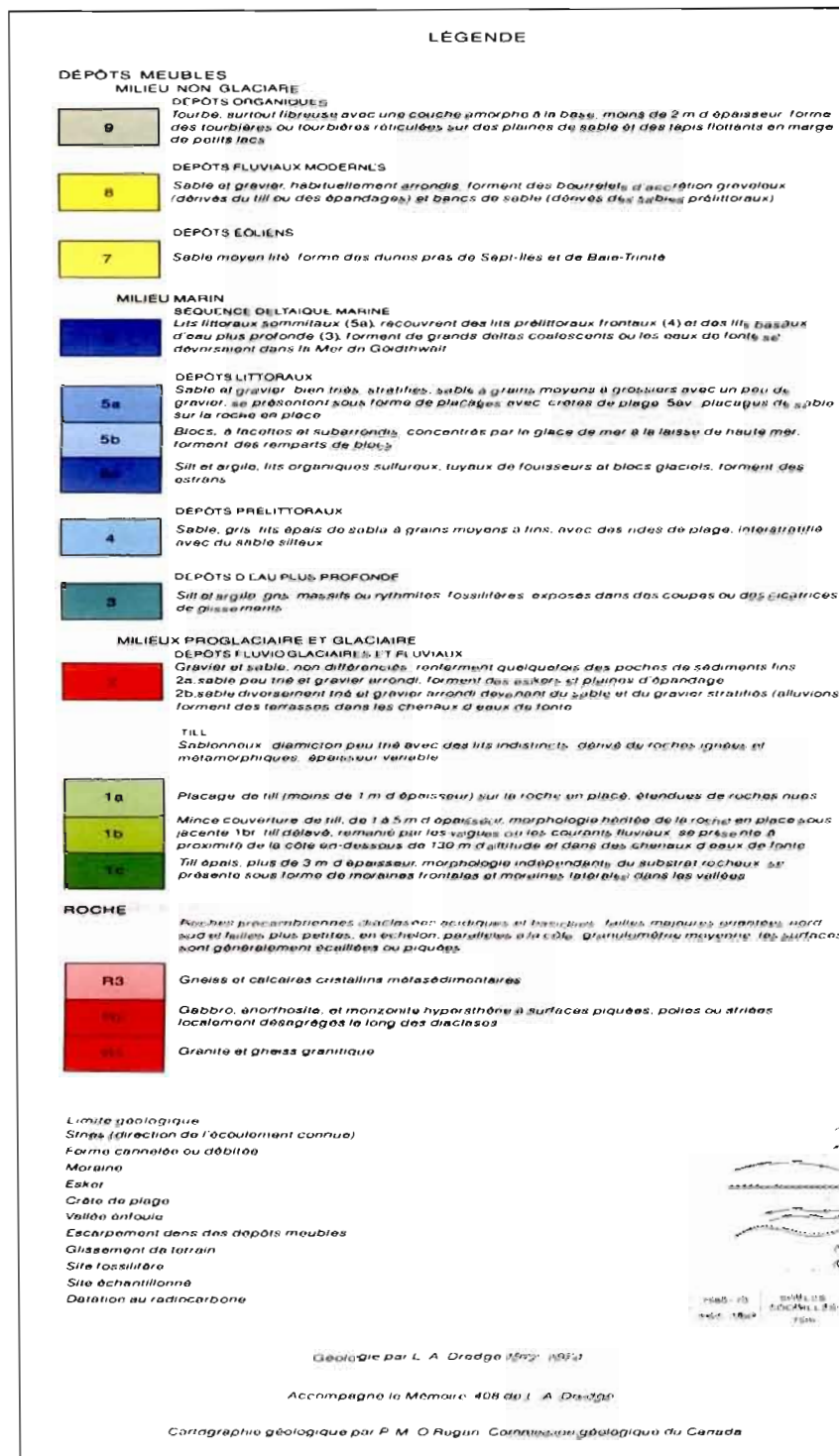


FIGURE 26 - Coupes structurales des îles de la Madeleine.

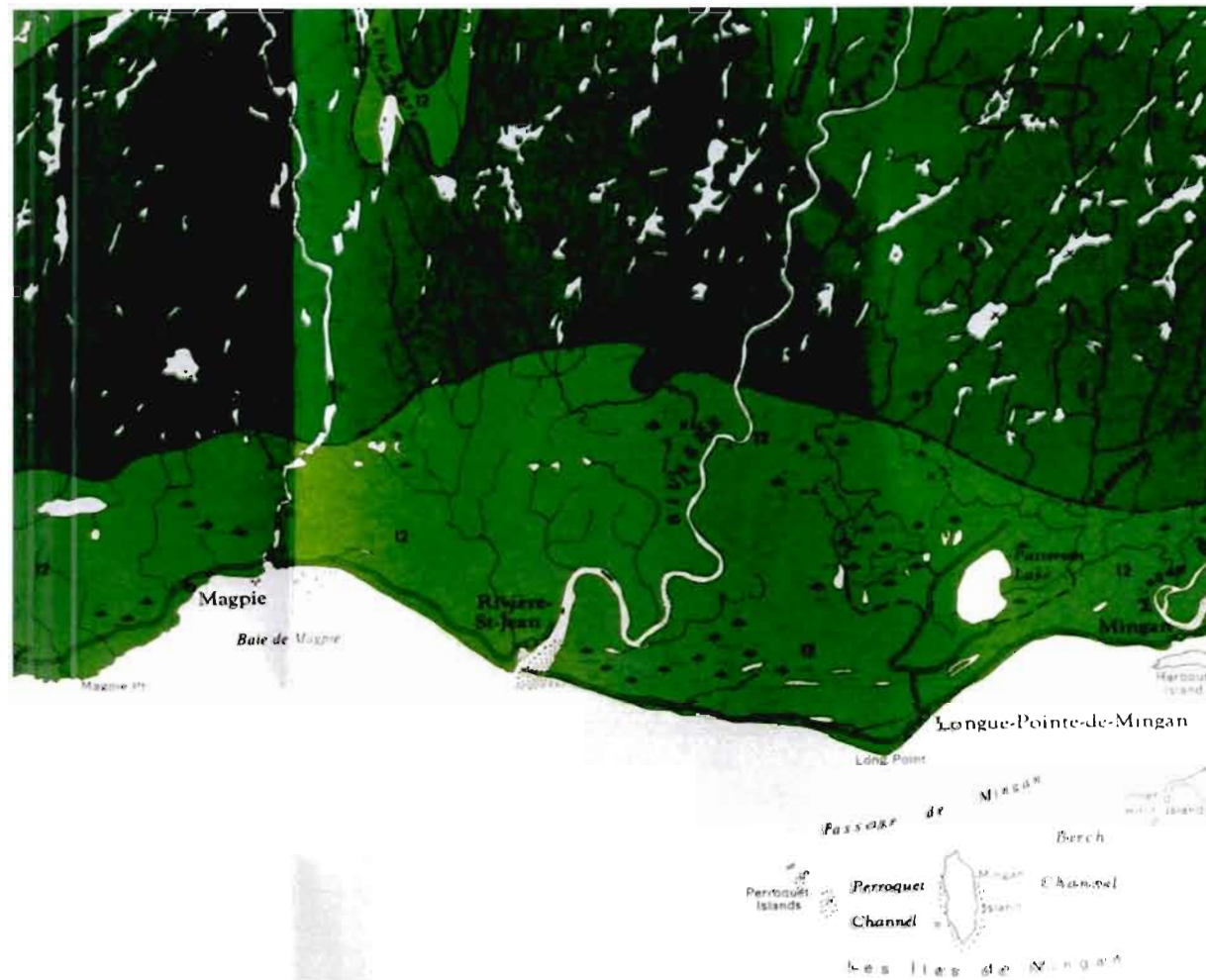
3. Coupe structurale des îles de la Madeleine (Brisebois, 1981)



4a- Géologie des formations de surface de la région de Sept-Îles (Dredge, 1983)

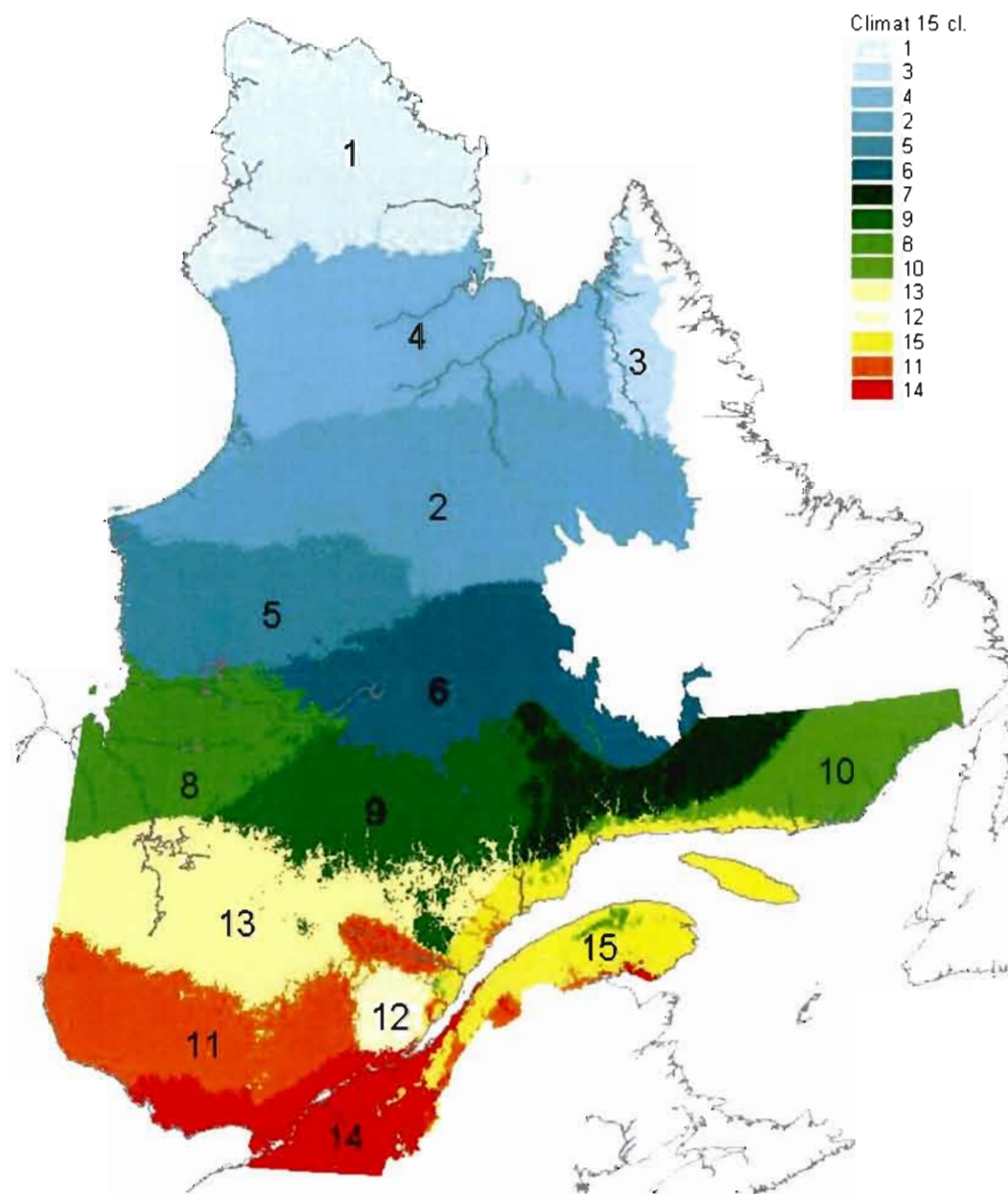


4b. Légende de la géologie des formations de surface de la région de Sept-Îles (Dredge, 1983).



5a. Géologie des formations de surface de la région de la Minganie (Sharma et Franconi, 1975).

APPENDICE C
CLASSIFICATION CLIMATIQUE EN 15 CLASSES



1:10000000

GERARDIN, V. et D. McKenney, 2001. Une classification climatique du Québec à partir de modèles de distribution spatiale de données climatiques mensuelles : vers une définition des bioclimats du Québec. Direction du patrimoine écologique et du développement durable, ministère de l'Environnement, Québec.

Tableau 1. Caractéristiques des climats du Québec.

Classes selon Litynski	Régions climatiques	Température (*)	Précipitation (*)	Saison de croissance
1	1	polaire	semi-aride	très courte
2	2	subpolaire froide	modérée	très courte
3	3	polaire	modérée	courte
4	4	polaire	modérée	très courte
5	5	subpolaire froide	modérée	courte
6	6.7	subpolaire froide	sub-humide	courte
7	8.9	subpolaire froide	sub-humide	moyenne
8	10	subpolaire	humide	courte
9	11	subpolaire douce	sub-humide	longue
10	12.13	subpolaire	humide	moyenne
11	14	modérée	sub-humide	longue
12	15	subpolaire	sub-humide	moyenne

* Subdivisions de la classification mondiale de Litynski (1988).